

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

(повна назва інституту/факультету)

**КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_ Клінічна інженерія  
(назва)

спеціальності \_\_\_\_\_ 163 Біомедична інженерія  
(код та назва)

на тему: \_\_\_\_\_ «Електроніж для отоларингології»

Виконала: студентка IV курсу, групи БМ-62  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Новіцька Анастасія Костянтинівна  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник д.т.н., проф. кафедри БМІ Лебедєв Олексій Володимирович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант з охорони праці доц. каф. ОПЦБ, к.т.н. Демчук Гліб Вікторович  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль ст. викл. каф. БМІ Юр'єва Катерина Олександрівна  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент доц. каф. ББЗЛ, к.т.н., доцент Антонова-Рафі Юлія Валеріївна  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут)	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 Біомедична інженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Клінічна інженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломну роботу студенту**  
**Новіцькій Анастасії Костянтинівні**

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Електроніж для отоларингології»

Керівник роботи: Лебедєв Олексій Володимирович, д.т.н., проф.каф.БМІ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1191-с

2. Термін подання студентом роботи «08» червня 2020 р

3. Вихідні дані до роботи: наукова та технічна література, інструкції користувача електроножів

4. Зміст дипломної роботи: огляд літературних джерел, ознайомлення з методом електрохірургії та використанням електроножа в хірургії, розробка моделі електроножа та її дослідження, аналіз можливих небезпек при подальшій розробці приладу

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорони праці	Демчук Г.В. доцент кафедри «Охорона праці, промислової та цивільної безпеки»		

## 7. Дата видачі завдання «13» квітня 2020 р

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літератури	13.04.2020 - 03.06.2020	
2.	Аналіз існуючих електроножів	20.04.2020 – 26.04.2020	
3.	Розробка моделі електроножа	20.04.2020 – 03.05.2020	
5.	Проведення досліджень	27.04.2020 – 10.05.2020	
6.	Аналіз отриманих результатів	04.05.2020 – 10.05.2020	
7.	Оформлення результатів	10.05.2020 – 17.05.2020	
8.	Оформлення розділу з «Охорони праці»	03.06.2020	
9.	Оформлення пояснювальної записки до ДР	03.06.2020	
10.	Отримання рецензії та відгуку керівника	05.06.2020 – 08.06.2020	
11.	Надання пакету документів по ДР до захисту	08.06.2020	
12.	Захист ДР	15.06.2020 – 19.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Анастасія НОВІЦЬКА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Олексій ЛЕБЕДЄВ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Темою дипломної роботи є «Електроніж для отоларингології».

Обсяг дипломної роботи складає 62 сторінки, містить 31 ілюстрацію, 17 таблиць. Загалом було опрацьовано 39 літературних джерела.

**Актуальність:** пластика носа - одна з найскладніших і затребуваних операцій у світі пластичної хірургії. Ніс - та частина тіла, яка найбільше виділяється і більшість настільки трепетно ставляться до носа, що виявляють бажання оперуватися навіть при нормальному, на погляд хірургів, носі.

Технічний результат, який досягається запропонованим електроножем, гарантує скорочення операції на 25-45 хвилин, полегшує працю хірурга та забезпечує тривалість загоєння рани в 1,4 рази швидше, ніж при оперуванні звичайним скальпелем.

**Мета:** вивчення механізму роботи електроножа при хірургічних втручаннях в отоларингології, а саме розробка та дослідження моделі електроножа і проведення механічного та електромагнітного дослідження.

**Завдання:**

- огляд науково-технічної літератури;
- розробка моделі електроножа;
- проведення механічного дослідження на напруження, переміщення та деформацію;
- проведення електромагнітного дослідження.

**Ключові слова:** пластика носу, викривлення носової перегородки, електроніж, електрохірургія, електроскальпель.

## ANNOTATION

The subject of diploma is "Electrckknife for otolaryngology".

The volume of the report is 62 pages, contains 31 illustrations, 17 tables. In total, 39 sources have been processed.

Relevance: nose plastic surgery is one of the most complex and popular surgeries in the world of plastic surgery. The nose is the part of the body that stands out the most and most are so reverent to the nose that they want to have surgery even with a normal, in the opinion of surgeons, nose.

The technical result achieved by the proposed electrckknife guarantees a reduction of the operation by 25-45 minutes, facilitates the work of the surgeon and provides the duration of wound healing 1.4 times faster than when operating with a conventional scalpel.

Objective: to study the mechanism of operation of the electrckknife in surgical interventions in otolaryngology, namely the development and study of the model of the electric knife and mechanical and electromagnetic research.

Task:

- review of scientific and technical literature;
- development of an model of an electrckknife;
- conducting mechanical research on loading, displacement and deformation;
- conducting electromagnetic research.

Key words: nose plastic surgery, nasal septum curvature, electrckknife, electrosurgery, electroscalpel.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	9
1.1 Будова носа та носової перегородки .....	9
1.2 Вирівнювання носової перегородки .....	12
1.3 Історія методу електрохірургії .....	14
1.4 Метод електрохірургії та поняття електроножа .....	14
1.5 Переваги електроножа перед скальпелем .....	16
1.6 Режим роботи електроножа .....	18
1.7 Теплова дія струму .....	20
Висновки до розділу 1 .....	22
<b>РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНОЖА</b> .....	24
2.1 Програмне забезпечення для моделювання .....	24
2.2 Розробка моделі електроножа .....	25
2.2.1 Загальний вигляд електроножа та його принцип роботи .....	25
2.2.2 Конструювання моделі .....	27
2.2.3 Моделювання біологічної тканини .....	28
Висновки до розділу 2 .....	29
<b>РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОНОЖА</b> .....	30
3.1 Проведення механічного дослідження .....	30
3.1.1 Механічне напруження .....	31
3.1.2 Переміщення .....	32
3.1.3 Деформація .....	33
3.2 Проведення додаткового дослідження на механіку .....	34
3.3 Проведення електромагнітного дослідження .....	36
3.4 Узагальнення отриманих результатів .....	45
Висновки до розділу 3 .....	46

					БМ62.14.2505.1191			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила	Новіцька А. К.				Електроніж для отларингології		Лит.	Лист
Перевірює	Лебедєв О. В.							
Реценз	Антонова-Рафі						6	62
Н. Контр.	Юр'єва К. О.						НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», ФБМІ, БМ-51	
Затвердив	Шликов В. В.							

<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	48
4.1 Характеристики об'єкту .....	48
4.1.1 Технічні характеристики приладу .....	48
4.1.2 Складові частини приладу.....	49
4.1.3 Характер взаємодії приладу в системі «людина – об'єкт».....	50
4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією приладу, та заходи їх усунення.....	50
4.2.1 Небезпеки фізичного характеру.....	50
4.2.2 Біологічні джерела небезпечних та шкідливих факторів впливу ....	51
4.2.3 Небезпеки теплового характеру.....	52
4.2.4 Небезпека ураження електричним струмом.....	53
4.2.5 Небезпеки пожежного характеру .....	55
4.3 Інструкція з техніки безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту	56
Висновки до розділу 4 .....	56
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	58

## ВСТУП

**Актуальність:** пластика носа - одна з найскладніших і затребуваних операцій у світі пластичної хірургії. Ніс - та частина тіла, яка найбільше виділяється і більшість настільки трепетно ставляться до носа, що виявляють бажання оперуватися навіть при нормальному, на погляд хірургів, носі.

Технічний результат, який досягається запропонованим електроножем, гарантує скорочення операції на 25-45 хвилин, полегшує працю хірурга та забезпечує тривалість загоєння рани в 1,4 рази швидше, ніж при оперуванні звичайним скальпелем.

**Мета:** вивчення механізму роботи електроножа при хірургічних втручаннях в отоларингології, а саме розробка та дослідження моделі електроножа і проведення механічного та електромагнітного дослідження.

Завдання:

- огляд науково-технічної літератури;
- розробка моделі електроножа;
- проведення механічного дослідження на напруження, переміщення та деформацію;
- проведення електромагнітного дослідження.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Будова носа та носової перегородки

Ніс – це початковий відділ дихальних шляхів, куди потрапляє повітря. Це частина обличчя людини, яка розташована нижче перенісся, в області якої є ніздрі, що виконують дихальну та нюхову функції [1].

Зовнішній ніс складається з 4 зон (рисунок 1.1):

- кісткова частина;
- хрящова частина;
- долька;
- м'якотканинні ділянки.



Рисунок 1.1 – Зони зовнішнього носа [2]

Переважну більшість зовнішнього носа становлять кісткова, хрящова частини та долька. Форма носа зумовлена його анатомо-фізіологічними особливостями.

Кісткову частину формують носові кістки, носові відростки лобної кістки та 2 лобних відростки верхньощелепової кістки. Носові кістки мають форму чотирикутника, невеликі за розміром та продовгуваті. Усі названі кісткові утвори з'єднуються між собою, утворюючи передню стінку носової порожнини [1].

Хрящова частина має 2 латеральні хрящово-перетинчасті ділянки, верхній край яких заходить під нижній край носових кісток на 1-2 мм. Хрящовий каркас має в розрізі Т-подібну форму.

Долька – це нижня частина зовнішньої носової піраміди, яка утворена двома дольковими хрящами, м'язами, зв'язками, жировою тканиною та шкірою, що має сальні залози [2]. Основні анатомічні утвори дольки носа:

- кінчик носа (утворений двома куполами, зв'язками та шкірою);
- надкінчикова зона (ділянка вище кінчика носа);
- підкінчикова зона (частина між кінчиком та місцем її з'єднання на рівні верхніх країв ніздрів);
- крило носа (латеральна стінка дольки);
- великий крильний хрящ (забезпечує анатомічну форму дольки);
- ніздрі (отвори, обмежені нижнім краєм крила носа).

Зовнішня носова частина має 4 м'якотканинні зони:

- парасептальна зона;
- латеральна зона;
- крильна зона;
- каудальний дольковий виріз.

Зовнішня носова частина зсередини та зовні покрита шкірою з сальними залозами та волосяними фолікулами, сполучнотканинним шаром з

судинами та нервами, жировою тканиною. А також покрита тонким шаром м'язів, які виконують мімічну функцію.

Носова перегородка являє собою хрящову пластинку, яка розділяє порожнину носа на 2 однакові частини [1]. Складається із двох відділів: переднього хрящового та заднього кісткового (рисунок 1.2).

Також має рухому та нерухому частини. Перша сформована перетинчастою і хрящовою тканиною, інша – кістковою. Хрящова тканина формує передню зону перегородки, завдяки чому вона більш еластична і має відносну рухливість [2].

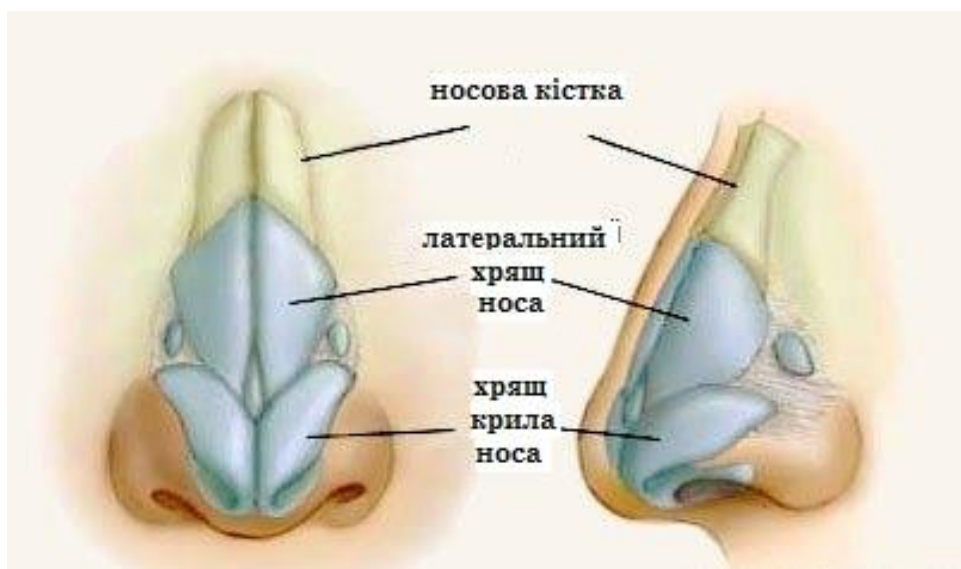


Рисунок 1.2 – Основні частини носової перегородки [2]

Остаточне формування носової перегородки настає до 10-12 років, після чого вона продовжує зростати за рахунок кісткових зон. На стику хряща і кістки часто з'являються гребені та шипи за рахунок того, що 2 відділи носової перегородки ростуть по різному [1].

Досить часто зустрічаються переломи носової перегородки внаслідок нещасного випадку або професійної діяльності. Наслідком можуть бути проблеми з диханням, що може перерости у хронічну форму, виникають болі тощо [3].

## 1.2 Вирівнювання носової перегородки

Викривлення носової перегородки може бути як вродженим, так і набути. Але найчастіше все ж зустрічаються випадки з вродженим викривленням внаслідок нерівномірного зростання кісткової та хрящової тканин перегородки носа. Травматичні випадки відбуваються внаслідок ударів або пошкодження спинки носа [4].

Причини, за якими відбувається викривлення носової перегородки, наступні:

- фізичні;
- травматичні;
- компенсаторні [33].

Фізичне викривлення відбувається в період розвитку організму і пов'язане з нерівномірним формуванням тканин. Тобто одна частина перегородки може розвиватися повільніше за іншу. Це призводить до її викривлення або утворення гребенів та шипів [33].

Травматичне викривлення частіше зустрічається у чоловіків, так як вони більш схильні до зовнішніх пошкоджень носа. Носова перегородка також може травмуватися при народженні, коли в процесі пологів, дитина отримує вивих хряща перегородки [33].

Компенсаторне викривлення носової перегородки відбувається під впливом зовнішнього тиску. Наприклад, в результаті пухлин і поліпів або коли відбувається гіпертрофія однієї з раковин носа. При цьому дихання сильно порушується і носова перегородка зсувається вбік [33].

Викривлення носової перегородки має такі симптоми:

- ускладнене носове дихання;
- хронічні запальні захворювання пазух носа;
- алергічні захворювання;

- зміна форми носа;
- храп;
- сухість порожнини носа.

Наслідками викривлення носової перегородки можуть бути хронічні захворювання:

- середнього вуха;
- слухової труби;
- глотки.

Діагностика даної проблеми проводиться ЛОР-лікарем. Первинно діагноз викривлення носової перегородки ставиться при зовнішньому огляді, так як часто асиметрію видно і без застосування медичних інструментів. При цьому пацієнта просять дихати кожною ніздрею окремо і за допомогою вати або нитки визначають рівномірність дихання [33].

Також лікар проводить риноскопію, оглядаючи при цьому передню і задню частини носової порожнини. Далі проводиться огляд рота і носа – задня риноскопія. За результатами обстеження лікар надає висновок про складність викривлення і послідовність лікування.

На даний момент існує тільки один метод вирівнювання носової перегородки – хірургічна операція, яку здійснює хірург-отоларинголог. Дане хірургічне втручання не рекомендується проводити в дитячому віці, так як лицевий скелет ще не сформувався остаточно [4].

Таке хірургічне втручання проводиться через ніс – на обличчі не проводиться розрізів і після не залишається рубців. Операція проводиться під загальним наркозом і триває від 30 хвилин до півтори години, що залежить від ступеня викривлення перегородки [4].

Також існує запатентований спосіб лікування викривлення носової перегородки [12]. Задачею даної корисної моделі є попередження рецидиву деформації хрящового відділу перегородки носа після септопластики, що позитивно впливає на ефективність хірургічного втручання [12].

### 1.3 Історія методу електрохірургії

Історію електрохірургії пов'язують з відкриттям теплових властивостей електрики на початку XVIII століття, та винайденням Беккерелем електроножа, який нагрівав кінець дроту з подальшим припіканням тканин.[34]

Вперше змінний струм було застосовано у дослідях Д'Арсонваля у 1892 році: якщо помістити руки в судини з струмопровідної рідиною і пустити через неї струм, в зап'ястях відчуватиметься тепло.[34]

Електрокоагулятор сучасного типу вперше створив Бові спільно з Кушингом в 20-х роках минулого століття. Апарат Бові міг працювати в трьох режимах - розрізу, коагуляції і змішаному. З 1926 року деякі хірурги стали використовувати дану апаратуру на практиці. У 1970 генератори струму високої частоти були вдосконалені, що дало імпульс до збільшення області застосування цього виду електромедичного устаткування.[3]

Технологія ВЗМЖТ, пріоритет розробки якої належить українським ученим, вже понад 10 років використовується в різних галузях клінічної хірургії. За допомогою цієї технології виконано понад 80 тис. хірургічних операцій [35].

На сьогодні спільними зусиллями хірургів та інженерів України і США розроблено понад 50 типів електрозварювальних хірургічних інструментів, які дозволяють виконувати більш 100 видів оперативних втручань.[35]

### 1.4 Метод електрохірургії та поняття електроножа

Метод електрохірургії полягає у використанні струму високої частоти з метою розсічення тканин та коагуляції судин. Відзначають ряд переваг

електрохірургії перед іншими методами: скорочується час операції, зменшується крововтрата, спостерігається менша болісність в ранньому післяопераційному періоді [7].

Розрізняють 2 види електрохірургії:

- монополярна;
- біполярна.

При монополярній електрохірургії провідником є все тіло хворого. Електричний струм у даному випадку проходить від електрода хірурга до електрода пацієнта (рисунок 1.3).

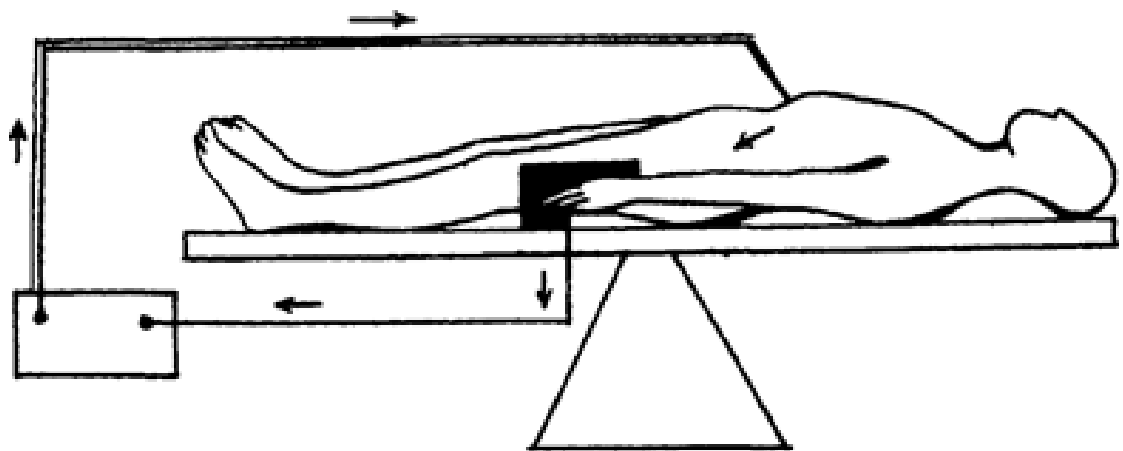


Рисунок 1.3 – Монополярна електрохірургія [5]

Ці електроди також ще називають активним та пасивним відповідно. Вони відрізняються між собою за наступними параметрами:

- по розміру;
- площі дотику з тканинами;
- відносній провідності [5].

Монополярна електрохірургія найбільш розповсюджена, її використовують і для різання, і для коагуляції тканин.

При біполярній електрохірургії генератор з'єднаний з двома активними електродами, які вбудовані в один інструмент. У даному випадку струм проходить тільки через невелику площу тканини (рисунок 1.4) [5].

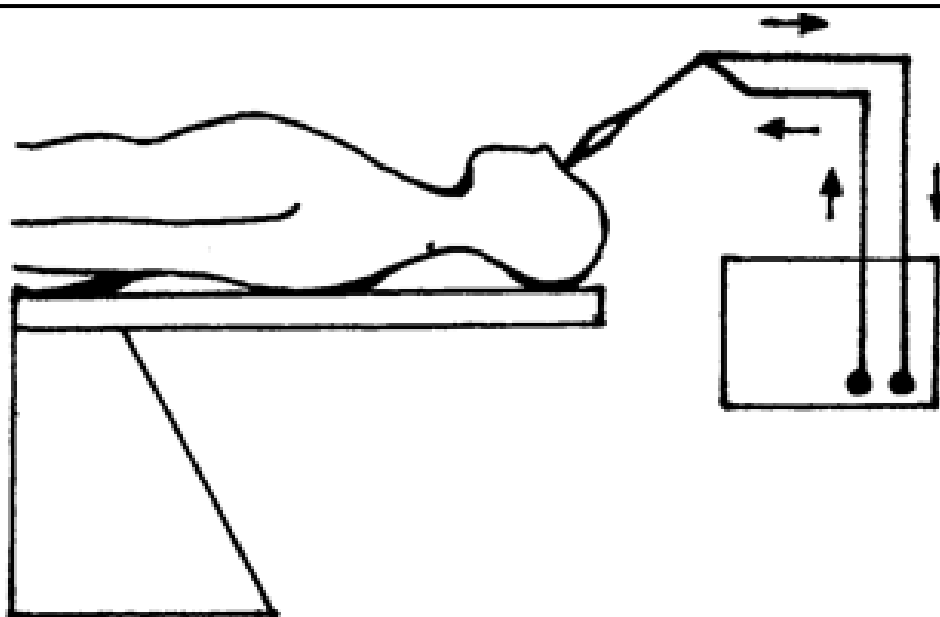


Рисунок 1.4 – Біполярна електрохірургія [5]

Біполярна електрохірургія менш універсальна, ніж монополярна. Вона потребує більш складних електродів, але безпечніша, так як діє на тканини суворо локально. Пластину пацієнта в даному методі не використовують. Працює тільки в режимі коагуляції.

Електроніж – це апарат для операційних розрізів м'яких тканин струмом високої частоти або для їх коагуляції з метою зупинки кровотечі. Даний електрораспатор застосовується для розсічення добре васкуляризованих тканин, що не містять великих судин [8].

### 1.5 Переваги електроножа перед скальпелем

Хірургія не може існувати без застосування скальпеля для виконання розрізів тканин. Але поява електроножа призвело до його широкого використання в якості альтернативного інструменту для даних потреб [6]. До явних переваг електроножа відносять:

- зниження крововтрати;
- сухе операційне поле;



– швидкий розріз тканин при мінімальному ризику випадкової травми персоналу.

Суть використання електроножа полягає у підведенні до біологічних тканин струму високої щільності та подальшого їх нагрівання і плавлення, що призводить до роз'єднання. Саме так формується розріз [9].

При застосуванні електроножа можна отримати два ефекти: різання та коагуляцію. Основним фактором впливу на тканини струмом високої частоти є тепло, яке виникає в них при проходженні струму. На величину нагріву тканини впливають не тільки параметри струму, але і величина контактної поверхні електродів (чим менша поверхня, тим більш локально підвищується температура) [10].

Під час різання необхідний струм низької напруги. Даний ефект можливий завдяки тому, що внутрішньоклітинна рідина під впливом високих температур закипає, - при оперативному пересуванні електроножа це призводить до роз'єднання основної частини тканин на операційній ділянці.

Велика частина тканин при руйнуванні знаходить у стані розварювання і менша частина – обвуглена, яка залишилася уздовж краю розрізу. Термічні ушкодження при цьому мінімальні. Даний результат отримується через те, що тепло втрачається за рахунок випаровування води і не проводиться через зрізані тканини.

При роботі в режимі коагуляції використовується імпульсний струм високої частоти. Процес коагуляції проходить при підвищенні температури в діапазоні від 20 до 80°C. Кінцевий результат застосування даного режиму – термічне пошкодження робочої поверхні, що обумовлює відмирання прилеглих тканин. Для здійснення розрізу потрібен електрод з голкою або тонким лезом.

## 1.6 Режими роботи електроножа

Електроніж може функціонувати в трьох режимах:

### 1. Монополярний режим.

При роботі в даному режимі використовують активний та пасивний електроди. В якості пасивного використовується пластина, яку накладають на пацієнта. Напрямок електричного струму при роботі у даному режимі можна побачити на рисунку 1.5.

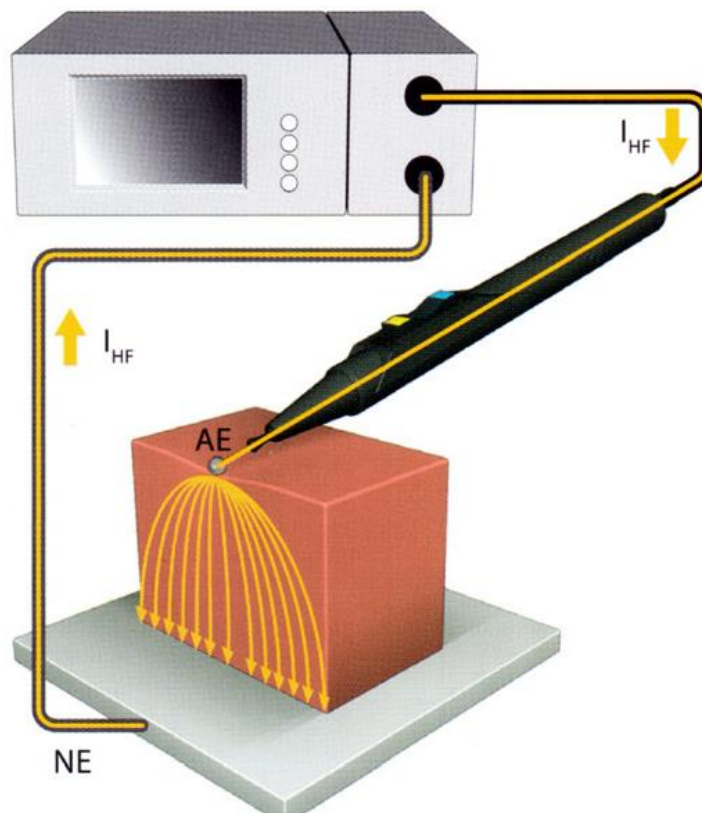


Рисунок 1.5 – Напрямок електричного струму при роботі електроножа в монополярному режимі [10]

Електричний струм проходить через все тіло оперованого, але він цього практично не відчуває [10]. У даному режимі можна досягнути ефекту різання та коагуляції, а також проводити запаювання судин.

## 2. Біполярний режим.

Напрямок руху електричного струму при використанні біполярного режиму зображено на рисунку 1.6. Найчастіше даний режим застосовується в нейрохірургії, гінекології та при лікуванні ЛОР-захворювань.

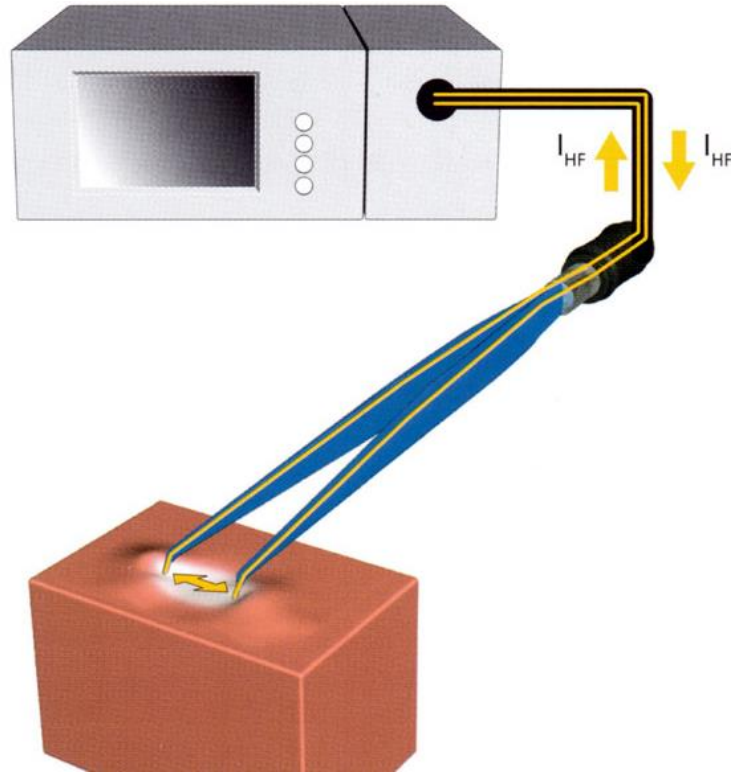


Рисунок 1.6 - Напрямок електричного струму при роботі електроножа в біполярному режимі [10]

У даному режимі задіяні два активних електроди, що не дозволяє струму протікати через все тіло пацієнта, а локалізується тільки в потрібній ділянці. Завдяки цьому знижується ризик виникнення опіків в ході процедури [10].

## 3. Режим аргонплазмової коагуляції.

У даному режимі використовують аргонову плазму, через яку проходить струм. Дим при цьому практично не утворюється, що забезпечує гарну видимість операційної зони. Напрямок руху струму при роботі у даному режимі зображено на рисунку 1.7.

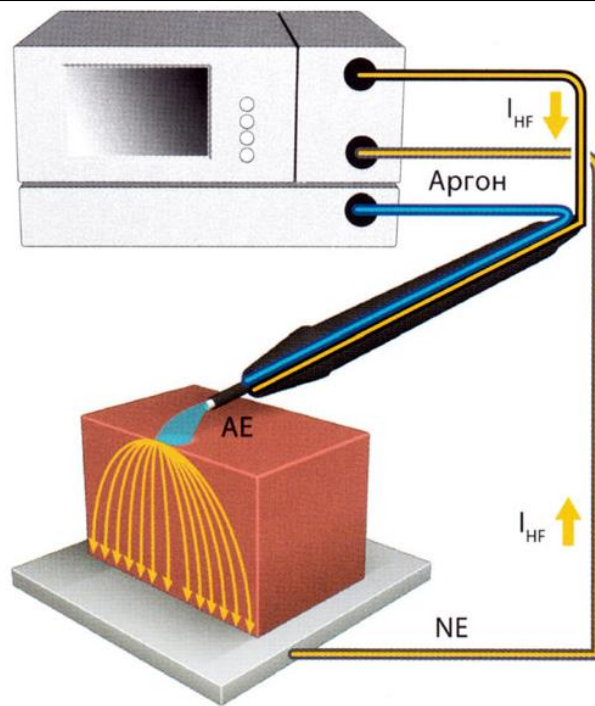


Рисунок 1.7 - Напрямок електричного струму при роботі електроножа в режимі аргонплазмової коагуляції [10]

Утворені рани при даній маніпуляції затягуються досить швидко, а ризик розвитку загострень мінімальний. Біологічні матерії при цьому не контактують з електродами, що забезпечує збереження їх цілісності. А завдяки автоматичній спрямованості аргонплазмового променя, хірург отримує повністю зкоагульовану робочу ділянку [10].

### 1.7 Теплова дія струму

Принцип роботи електроножа заснований на перетворенні високочастотного струму в теплову енергію. Таке перетворення відбувається в результаті опору біологічної тканини електричній енергії і за законом Джоуля виражається наступною формулою 1.1 [36].

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (1.1)$$

де  $Q$  – теплова енергія,

$I^2$  – сила струму,

$R$  – опір,

$t$  – час впливу.

З цієї формули випливає, що кількість теплової енергії прямо пропорційно силі струму, часу його впливу і опору, і обернено пропорційно площі контактної частини електрода (тобто чим менше площа поверхні контакту електрода, тим сильніше підвищується локальна температура). [37]

Змінюючи значення сили і часу впливу на тканини височастотного струму можна викликати різні ефекти (рисунок 1.8).

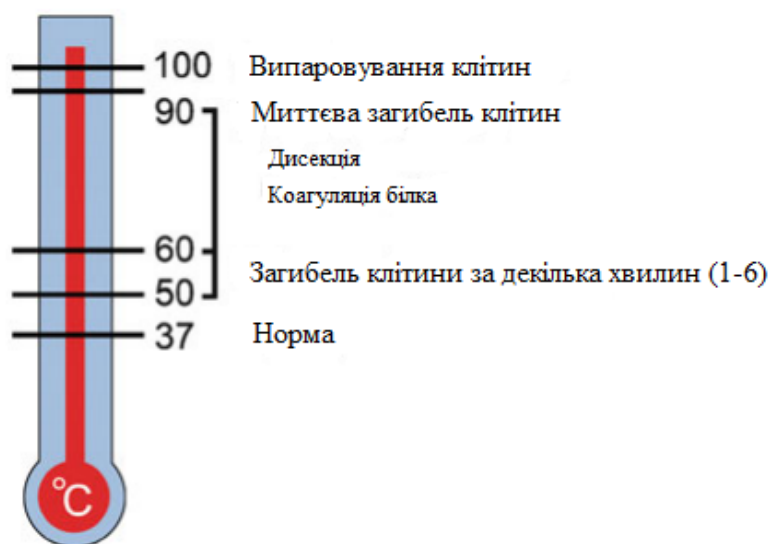


Рисунок 1.8 – Вплив температури на клітини та тканини [38]

Так, при нагріванні тканин до температури 45°C відбувається їх часткове, але оборотне термічне пошкодження. При більш значному підйомі температури в тканинах білки піддаються денатурації і втрачають структурну цілісність.

Якщо тканина нагрівається повільно, то при температурі понад 90°C рідина в ній випаровується, що призводить до її висушування (дисекції), якщо ж висока температура досягається «миттєво», то відбувається випаровування тканини.[39]

Ефект розсічення тканин (різання) відбувається внаслідок високої щільності струму, яка виробляє різке зростання температури оперованого об'єкта.

При температурах вище 100°C випаровується міжклітинна рідина, відбувається механічний розрив тканини. При більш високих температурах 150-200°C відбувається карбонізація (обвуглювання) та вапоризація (випаровування всієї тканини).[26]

### Висновки до розділу 1

У даному розділі було розглянуто будову носа, а також проблему викривлення носової перегородки. Вивчено метод електрохірургії, її види та використання електроножа. Відповідно до літературних даних, електроніж використовується в різних галузях медицини.

Електроніж має ряд певних переваг перед звичайним хірургічним скальпелем. Основним привілеєм даного інструменту є те, що внаслідок коагуляції зменшується фільтрація в рану тканинної рідини і знижується всмоктуюча здатність ранової поверхні. Саме ці параметри сприятливо позначаються при загоєнні ран.

У даному також розділі було розглянуто режими роботи електроножа. Їх різниця полягає у використанні активних та пасивних електродів або аргонної плазми. Кожен з розглянутих режимів доцільно використовувати для певних хірургічних маніпуляцій, але основна мета кожного з них – це безкровне різання та коагуляція тканин, і дані режими це цілком забезпечують.

На основі аналізу літературних джерел, було сформовано задачі практичної частини:

- сконструювати модель електроножа та біологічної тканини;

– провести механічне дослідження на напущення, переміщення та деформацію, а також встановити оптимальне значення навантаження на біологічну тканину;

– провести електромагнітне дослідження, що включає в себе електричний і температурний аналізи, а також визначення градієнту електричного поля, щільність струму, температури та градієнту температури.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2

### МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНОЖА

#### 2.1 Програмне забезпечення для моделювання

Основним завданням практичної частини стоїть дослідження деформації при механічному напруженні та проведення електричного дослідження. На даний момент для даних цілей розроблено досить багато різноманітних програмних продуктів.

Для виконання досліджень потрібно було обрати програмну платформу з можливістю моделювання різних фізичних задач. Тому для даних цілей у роботі було прийнято рішення використовувати програмне забезпечення SolidWorks.

SolidWorks – це система параметричного моделювання, яка призначена для проектування деталей та збірок у тривимірному просторі з можливістю проведення різноманітних видів аналізу. Також він дає можливість оформити конструкторську документацію у відповідності до вимог Єдиної системи конструкторської документації [19].

У робоче середовище SolidWorks повністю інтегрований модуль SolidWorks Simulation для інженерних розрахунків та аналізу. За його допомогою можна прогнозувати поведінку виробу в реальній експлуатації. Також є можливість проводити лінійний статичний, нелінійний статичний та динамічний аналізи [23].

Відмітними особливостями SolidWorks є:

- твердотільне та поверхневе параметричне моделювання;
- повна асоціативність між деталями, збірками та кресленнями;
- багатий інтерфейс;
- гнучкість та масштабіність;
- спеціальні засоби по роботі зі збірками;



- простота у засвоєнні та висока функціональність [19].

Перевагами SolidWorks є:

- можливість швидко прорахувати велику кількість альтернативних варіантів конструкції;
- скорочення циклу розробки завдяки оптимізації конструкторських рішень;
- визначення запасу міцності, напруг та інших параметрів на ранніх стадіях розробки виробів;
- скорочення витрат на матеріали;
- зниження витрат на випробування фізичних зразків завдяки віртуальним випробуванням 3D-моделей [23].

Ще однією перевагою SolidWorks є можливість однаково працювати як з твердими тілами, так і з поверхнями. Процес побудови моделей заснований на створенні елементарних геометричних примітивів та виконання різних операцій між ними. Робота з інтерфейсом даної програми досить комфортна, так як вона розроблена з урахуванням особливостей користувачів [19].

## 2.2 Розробка моделі електроножа

### 2.2.1 Загальний вигляд електроножа та його принцип роботи

Електрохірургія є найчастіше використовуваною процедурою в операційній. Електрохірургічний інструментарій, що включає в себе високочастотні генератори та інструменти для розсічення та коагуляції біологічних тканин, застосовується практично при всіх хірургічних втручаннях [8].

Дані для моделювання було взято з патенту на корисну модель електроскальпелю Семенова В. Р. «МЕТОСТ» [11]. Загальний вигляд представлено на рисунку 2.1, розміри подано у міліметрах.

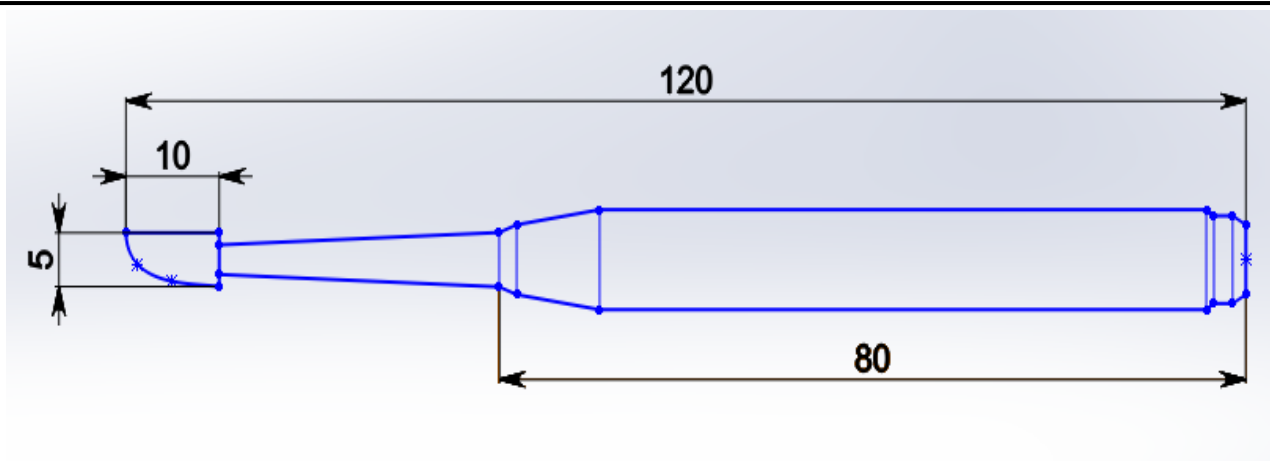


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд електроножа  
у горизонтальній проекції

Електроскальпель складається з двох лез, між якими розміщений діелектрик. Леза мають прямолінійну форму і в дистальному кінці вигнуту під кутом  $60^\circ$ , що дозволяє з легкістю маніпулювати ним, не використовуючи грубих інструментів [11].

Для роботи з електроножем хірургу необхідно тримати його за рукоятку і маніпулювати лезом. Струм протікає через штекерне рознімання та контактні штирі і далі через струмопровідні дроти з ізоляцією та струмопровідну основу леза. Це забезпечується завдяки підключенню електроножа до апарату для електрозварювання. Протікання струму відбувається лише в місці дотику леза до живих тканин. Одночасно відбувається розтинання тканин та гемостаз в пересічених судинах, що забезпечується завдяки заточці леза під кутом  $30$  градусів. Електроізоляція зовнішньої поверхні електроножа забезпечується ущільненням із ізолюючої швидкозастигаючої суміші [11].

Через джерело живлення подається струм, який обходить електроди через м'які тканини між пластинами леза та причиняє розігрівання та електрокоагуляцію [11]. При переміщенні електроножа можна отримати безкровний розтин тканин.

Технічний результат, який досягається запропонованим електроножем, забезпечує:

- полегшення праці хірурга;
- скорочення часу операції на 25-45 хвилин;
- візуальний контроль за місцем розтину тканин;
- безкровний розтин;
- швидше загоєння рани;
- менш болісний післяопераційний період.

### 2.2.2 Конструювання моделі

Для конструювання електроскальпелю в програмного забезпеченні SolidWorks спочатку було змодельовано одне його лезо товщиною 0,1 мм. Далі шляхом копіювання площини поверх леза накладено ізоляцію, а потім – ще одне лезо. Загалом саме лезо електроскальпелю має вигляд трьох пластин (рисунок 2.2). Для лез скальпелю задано матеріал – мідь і для діелектрика – пластмас.

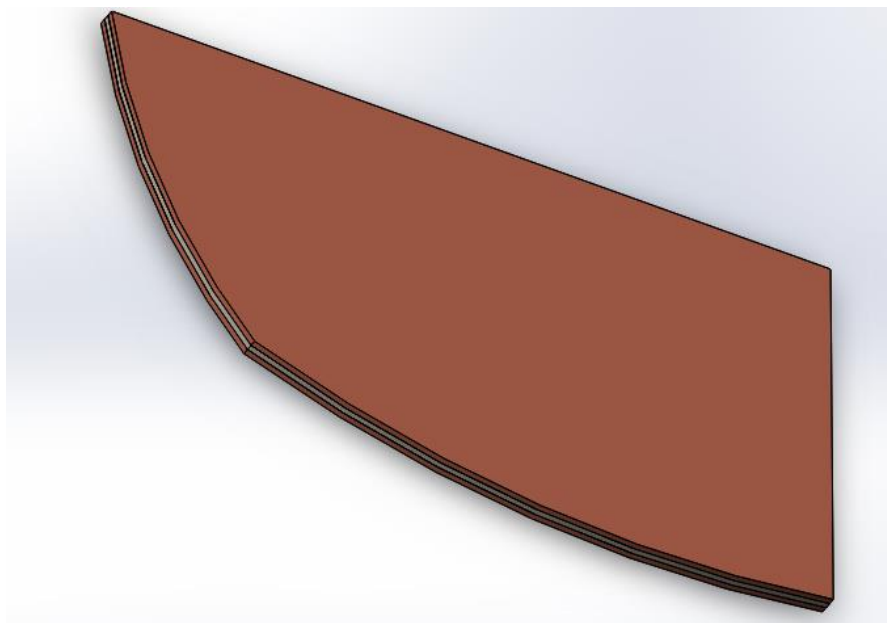


Рисунок 2.2 – Лезо електроскальпелю

На рисунку 2.3 представлено модель електроножа.

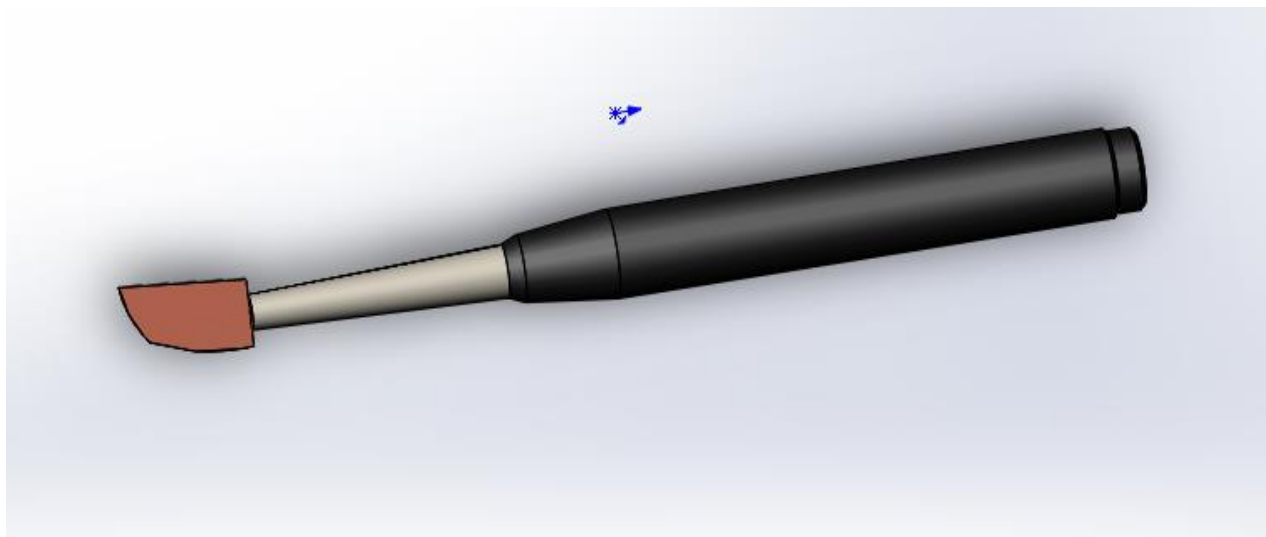


Рисунок 2.3 – Модель електроскальпелю

Рукоятку електроножа було змодельовано шляхом побудови ескізу та проведення різних фізичних маніпуляцій з ним для отримання бажаного зовнішнього вигляду інструмента.

### 2.2.3 Моделювання біологічної тканини

Даний електроніж розглядається як інструмент для проведення хірургічних втручань на носовій перегородці. Тому завданням механічного дослідження є перевірка з якою силою необхідно лікарю давити на хрящову тканину, щоб не пошкодити її та успішно провести операцію.

Для даного завдання необхідно спроектувати носову перегородку та спрямувати на неї механічне навантаження. Для цього під лезом необхідно створити модель хрящика носової перегородки. Лезо скальпелю з біологічною тканиною представлено на рисунку 2.4.

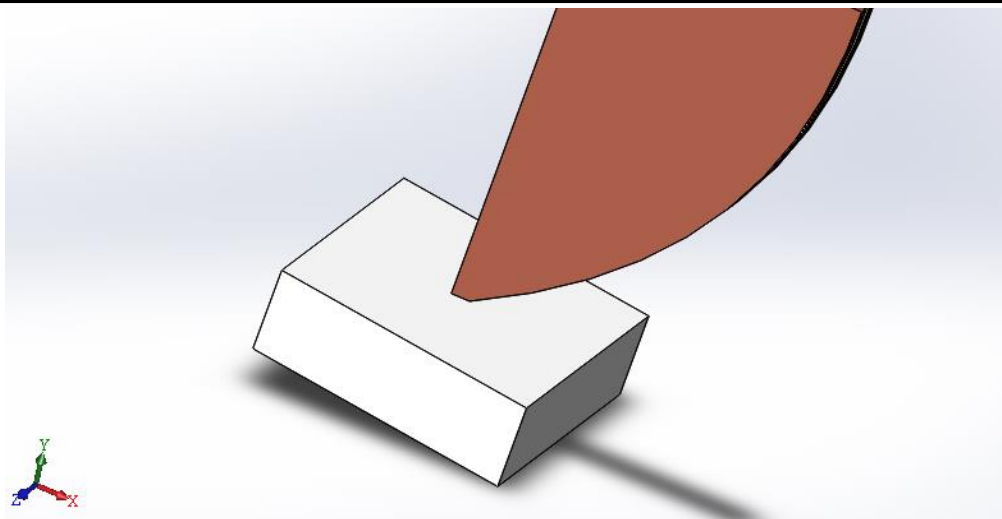


Рисунок 2.4 – Лезо скальпелю з біологічною тканиною

Так як в SolidWorks в якості матеріалу не існує біологічної тканини, то потрібно її створити, задаючи необхідні параметри. Для хрящика носової перегородки це модуль пружності та коефіцієнт Пуассона, які становлять  $0,01 \text{ Н/мм}^2$  та  $0,45$  відповідно.

## Висновки до розділу 2

Розглянувши поставлені задачі практичної частини, було обрано використовувати програмне забезпечення SolidWorks для моделювання моделі електроножа та проведення досліджень. Дане середовище дає можливість провести різні фізичні задачі та оформити конструкторську документацію у відповідності до вимог Єдиної системи конструкторської документації.

У даному розділі на основі ескізів було побудовано модель леза електроножа, а потім додано рукоятку. Також для подальших досліджень було сконструйовано модель біологічної тканини під лезом інструмента для подальших досліджень.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОНОЖА

#### 3.1 Проведення механічного дослідження

Механічне дослідження проводиться за допомогою SolidWorks Simulation. Даний вид аналізу проводиться для визначення напруження, адже чим більша механічна напруга, тим краще рвуться клітини. Завдяки механічній нарузі можна побачити міцність леза електроножа. Також механічне дослідження проводиться для визначення деформації та переміщення біологічної тканини, щоб показати наскільки її частина розтягується та як саме відбувається різання.

На рисунку 3.1 показано як накладені кріплення.

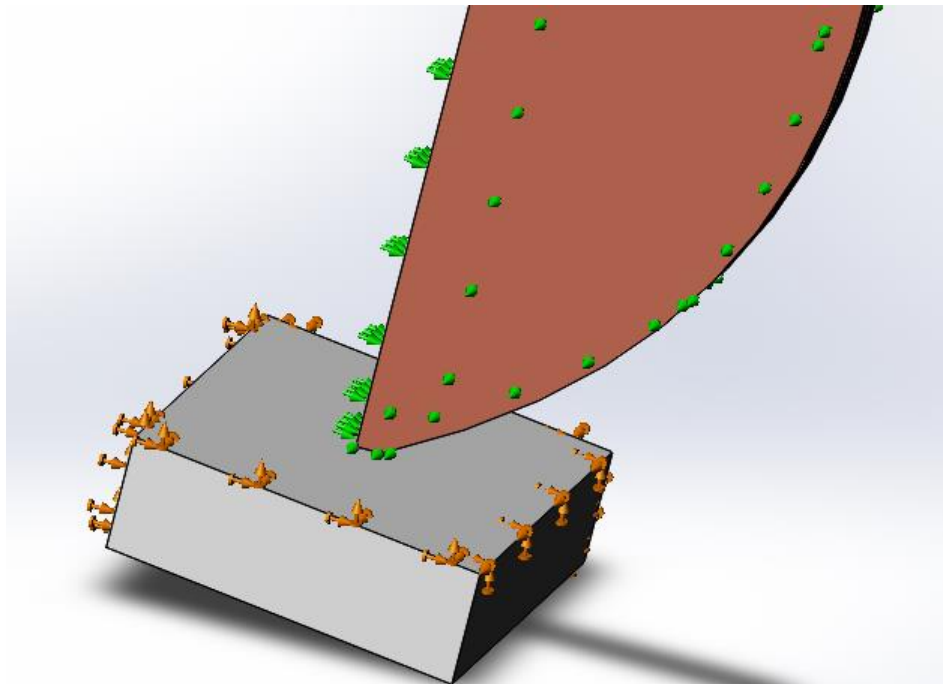


Рисунок 3.1 – Накладені кріплення

З рисунку 3.1 видно, що біологічна тканина, а саме хрящик носової перегородки, закріплена з усіх сторін, що робить її нерухомою. Лезо електроножа закріплене за допомогою функції ролик/повзун, що сприяє руху леза тільки у вертикальній площині і воно не відхиляється у інші сторони.

### 3.1.1 Механічне напруження

Інженери визначають механічні напруження по фон Мізесу. Критерій максимального навантаження по Мізесу засновується на теорії Мізес-Хенкі, яка також відома як теорія енергії формозміни. Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає пошкоджуватися у місцях, де навантаження по фон Мізесу стає рівним граничному навантаженню [21].

У більшості випадків межа міцності використовується у якості граничного навантаження. Однак, програма дозволяє використовувати граничне розтягування або ставити своє власне максимальне навантаження [26].

Результати напруження по фон Мізесу відображаються з використанням кольорових контурів для показу навантажень, отриманих при виконанні розрахунків для моделі [26]. Також відображається деформована деталь (рисунок 3.2).

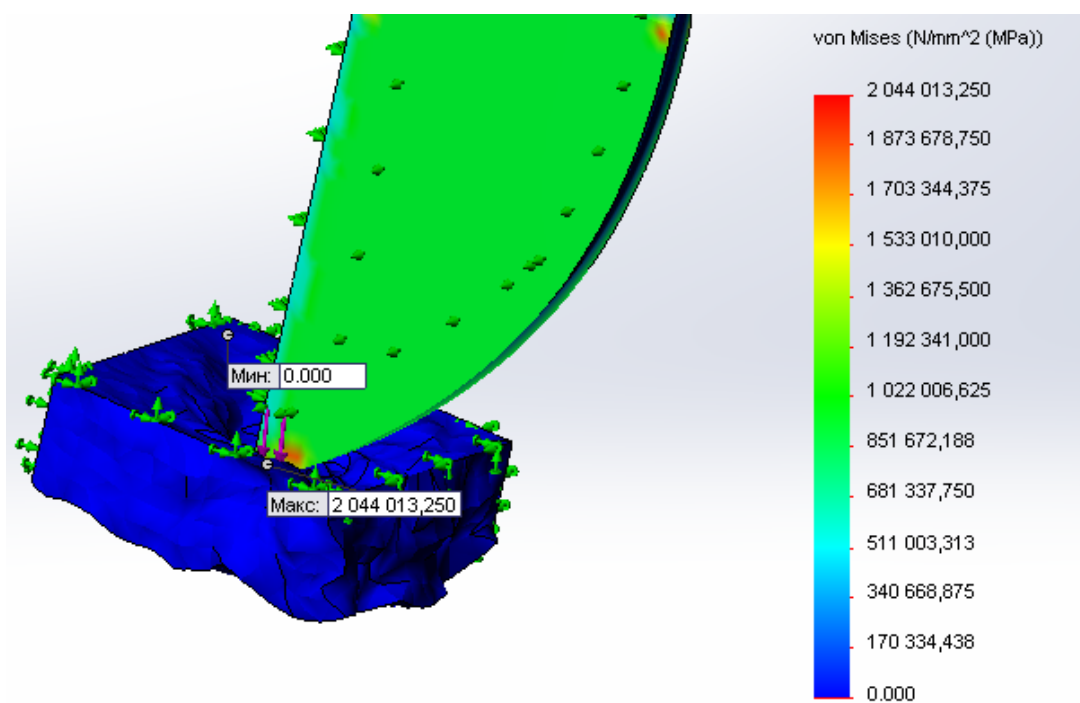


Рисунок 3.2 – Результати дослідження на напруження

У дослідженні на хрящову тканину подано навантаження 1 Н, межа міцності становить 20 Н/мм<sup>2</sup>. На рисунку 3.2 видно, що максимальне навантаження становить 2,04e+006 Н/мм<sup>2</sup>, що значно перевищує гранично допустиме. Це означає, що ділянки з таким великим значенням навантаження можуть порватися або зігнутися.

За даними результатів бачимо, що хірург може сильно пошкодити хрящик носової перегородки. Отже, при роботі з електроскальпелем подавати додаткового навантаження на оперовану тканину не потрібно.

### 3.1.2 Переміщення

Дослідження на переміщення забезпечує можливість створення епюри результатів переміщення та сили реакції для статичного, нелінійного, динамічного дослідження. А також випробування на ударну міцність або форм коливань для частотного дослідження та випробування втрати стійкості [27].

SolidWorks автоматично малює деталь з визначеним масштабом переміщення, що використовується програмою для масштабування найбільшої деформації [21]. Також відображається дійсна деформована форма моделі. SolidWorks ще дає можливість користувачу встановити своє власне значення коефіцієнта масштабування. В більшості випадків, більше значення даного коефіцієнта допомагає оцінити відхилення [27].

З рисунку 3.3 видно, що масштаб становить 0,24. Це означає, що реальне переміщення в 0,24 рази менше, тобто результати дослідження практично співпадатимуть з реальними значеннями.



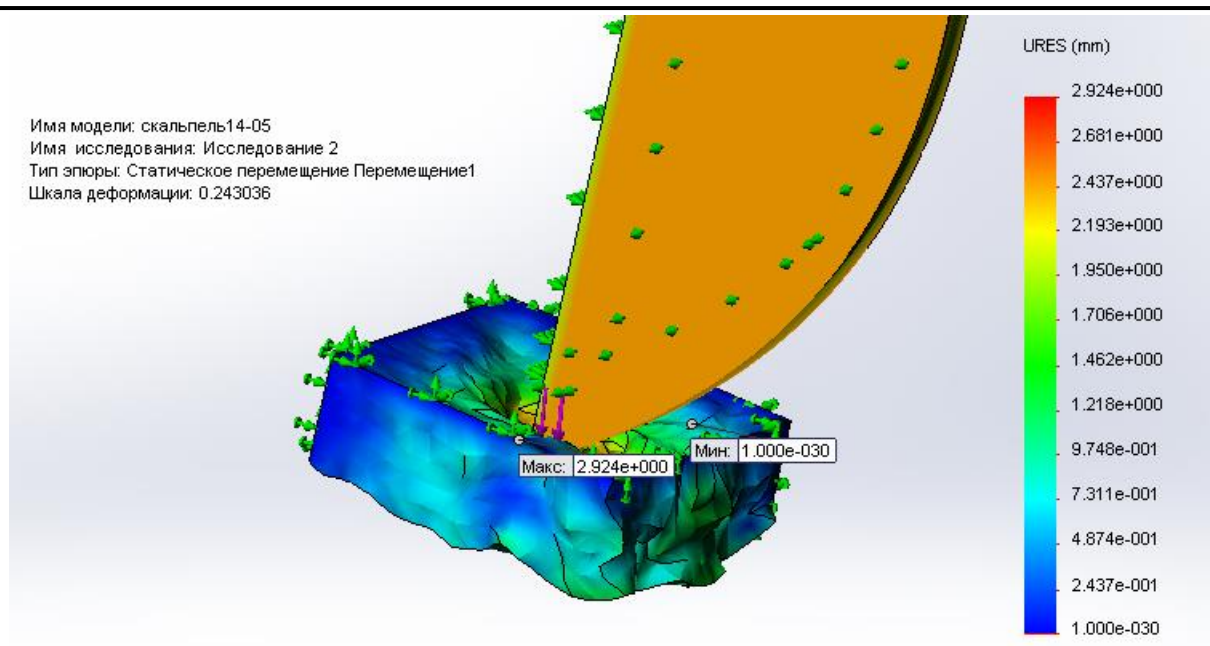


Рисунок 3.3 – Результати дослідження на переміщення

Переміщення вимірюється в міліметрах. По отриманим результатам видно, що з поданим додатковим навантаженням лезо електроскальпелю заходить в хрящову тканину приблизно на 3 мм, що забагато для даного вигляду хірургічних втручань. Це дослідження теж показує, що додаткового навантаження в 1 Н було забагато, тому хірургу не треба подавати зайвих зусиль.

### 3.1.3 Деформація

Епюра деформації дозволяє побудувати результуючі деформації статичного і нелінійного досліджень, модальної часової діаграми та дослідження на ударне навантаження [28]. Деформація в SolidWorks розраховується у відносних одиницях ESTRN, що показує відносну зміну розмірів елементів [19].

На рисунку 3.4 представлено результати на деформацію.

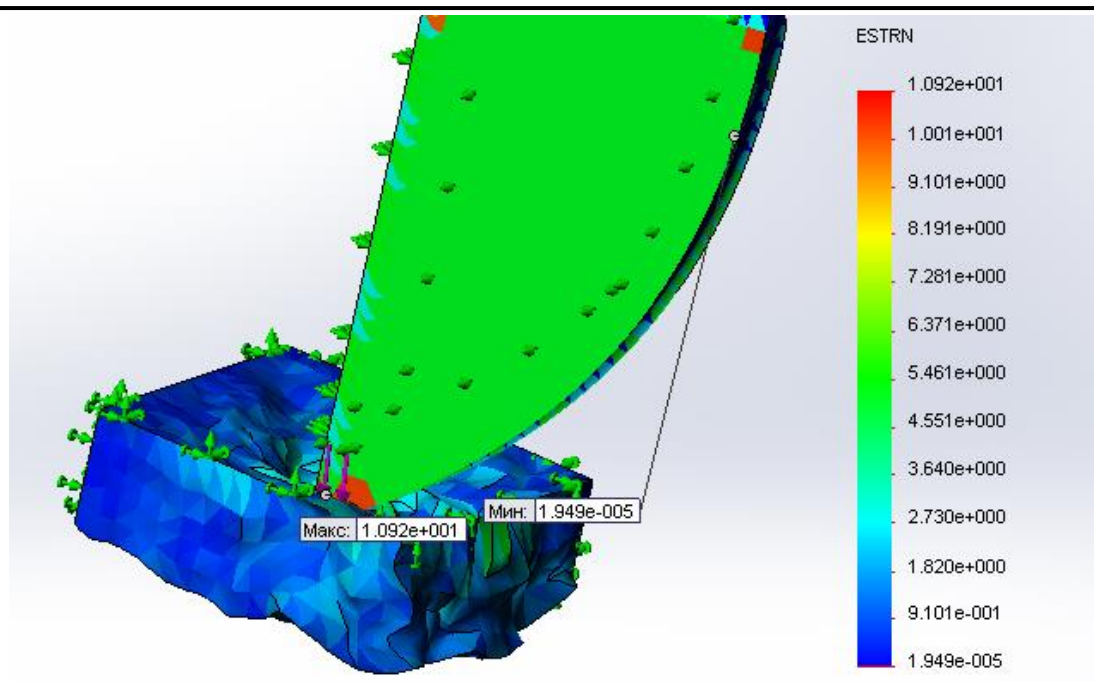


Рисунок 3.4 – Результати дослідження на деформацію

На рисунку 3.4 видно, що максимальна деформація буде  $1,092e+001$ . Це означає, що максимальна зміна розмірів становить 10,92, що не зовсім нас задовольняє. Але потрібно пам'ятати, що при дослідженні було подано додаткове навантаження 1 Н, що також сильно впливає на деформацію. Що ще раз підтверджує, що не потрібно подавати додаткове навантаження на хрящову тканину.

### 3.2 Проведення додаткового дослідження на механіку

При проведенні механічного дослідження було отримано результат, що поданого додаткового навантаження на біологічну тканину у 1 Н було забагато, адже відбулося її пошкодження та деформація. Тому необхідно було провести додаткове дослідження на механіку для визначення оптимального навантаження.

На біологічну тканину було подано додаткове навантаження 0,1 Н. На рисунку 3.5 подано результати додаткового дослідження на напруження.

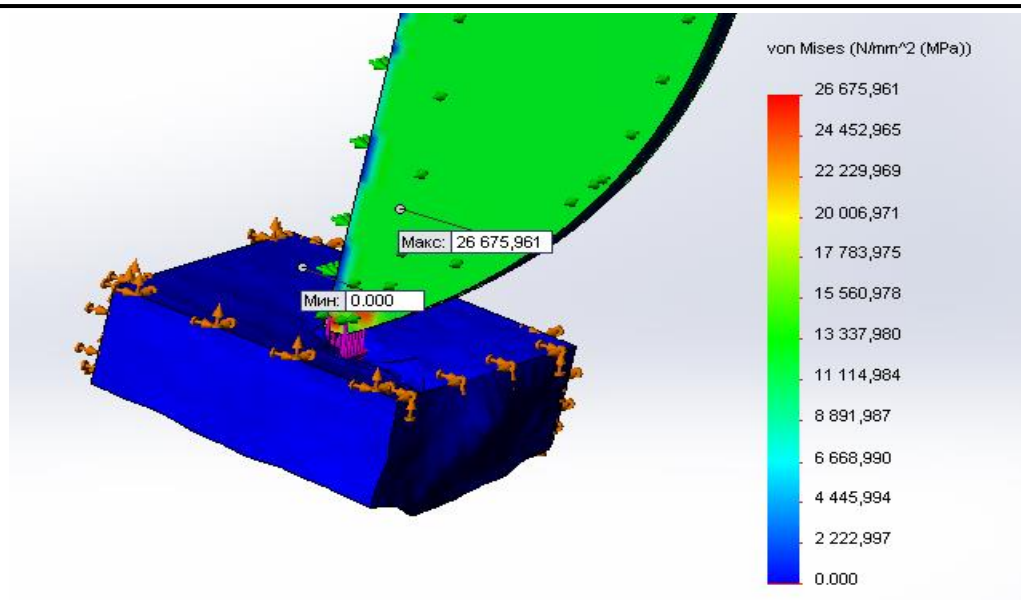


Рисунок 3.5 – Результати додаткового дослідження на напруження

З рисунку 3.5 видно, що поданого додаткового навантаження у 0,1 Н було цілком достатньо, щоб успішно провести операцію і не пошкодити хрящову тканину.

На рисунку 3.6 представлено результати додаткового дослідження на переміщення.

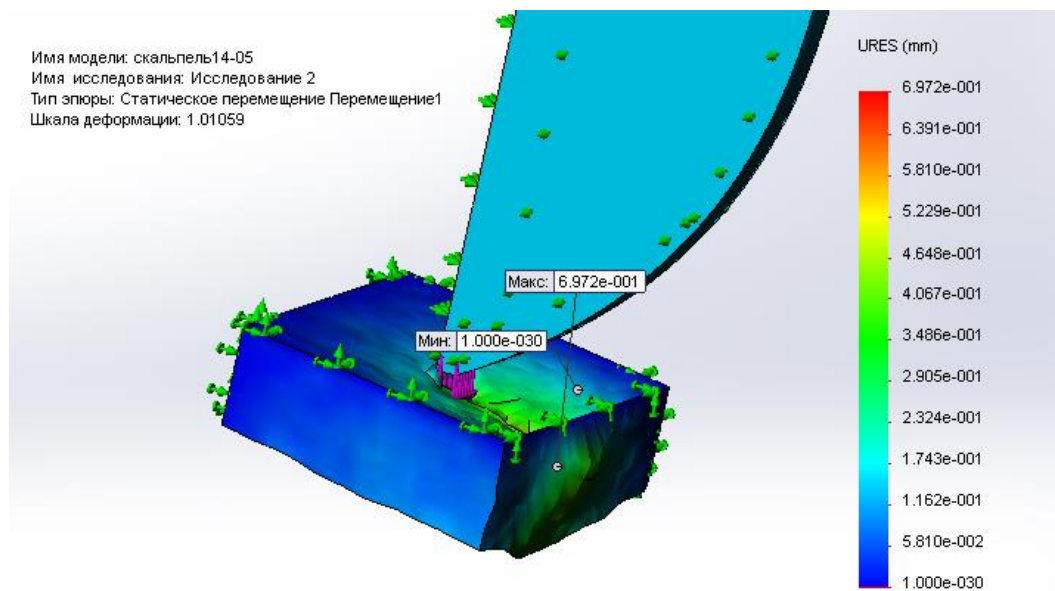


Рисунок 3.6 – Результати додаткового дослідження на переміщення

З рисунку 3.6 видно, що автоматично визначений масштаб становить 1,01 – це означає, що реальне переміщення в 1,01 рази менше, а, отже, результати практично співпадають з реальними значеннями.

Переміщення вимірюється в мм.

По отриманим результатам видно, що з поданим додатковим навантаженням у 0,1 Н лезо електроножа заходить у біологічну тканину приблизно на 0,7 мм. Даний результат цілком задовільний, хірург не пошкодить тканини та успішно проведе хірургічне втручання.

На рисунку 3.7 представлено результати додаткового дослідження на деформацію.

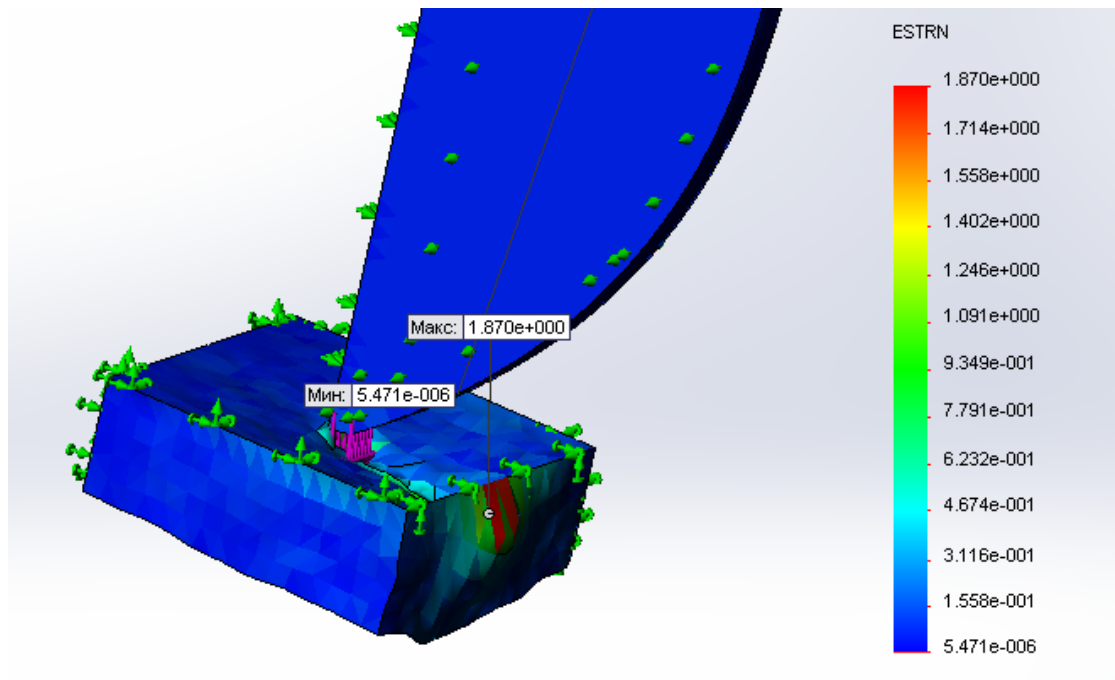


Рисунок 3.7 – Результати додаткового дослідження на деформацію

На рисунку 3.6 видно, що максимальна деформація складає  $1,870 \times 10^0$ . Це означає, що максимальна зміна розмірів становить 1,87, що задовільно. Отже, подане додаткове навантаження у 0,1 Н є оптимальним значенням для проведення подібних хірургічних маніпуляцій з хрящовою тканиною. Тобто хірургу не потрібно подавати значних зусиль на біологічну тканину, адже більші навантаження можуть спричинити її пошкодження та деформацію.

### 3.3 Проведення електромагнітного дослідження

Дане дослідження включає в себе електричний та тепловий аналізи. Електромагнітне дослідження проводиться з метою визначення температури біологічної тканини під електродами, градієнту потенціалу та щільності струму.

Для проведення електромагнітного дослідження необхідно до SolidWorks встановити додаток Electromagnetic Simulation. За допомогою даної програми можна вивчити як змінюються залежно від заданого параметра електромагнітні поля, сили тощо. Такими параметрами можуть бути будь-які розміри або змінні, що пов'язані з імітацією [31].

Лезо електроножа складається з трьох пластин, дві з яких – електроди, між якими маємо 40 В змінного струму з частотою 440 кГц. При встановленні параметрів було додатково обрано Thermal Coupling для того, щоб отримати результати не тільки електричного, а і теплового дослідження (рисунок 3.8).

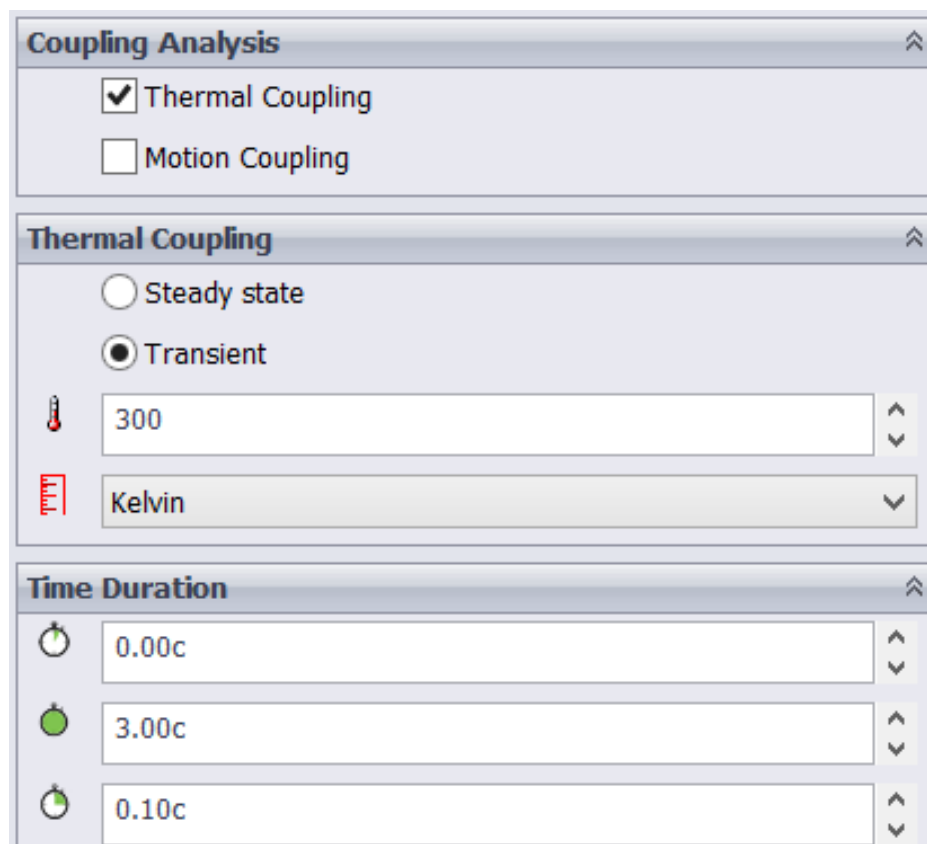


Рисунок 3.8 – Параметри для електромагнітного дослідження

Для дослідження було обрано початкову температуру 300 K, що становить 26,85°C. Тривалість дослідження обрано 3 с з кроком 0,1 с.

Величина градієнта електричного потенціалу вимірюється у В/м. Коли цей градієнт зростає до критичної позначки, то у навколишньому середовищі може відбутися електричний пробій [30].

На рисунку 3.9 представлено результат градієнту електричного поля. Найбільший він – на кінчику леза.

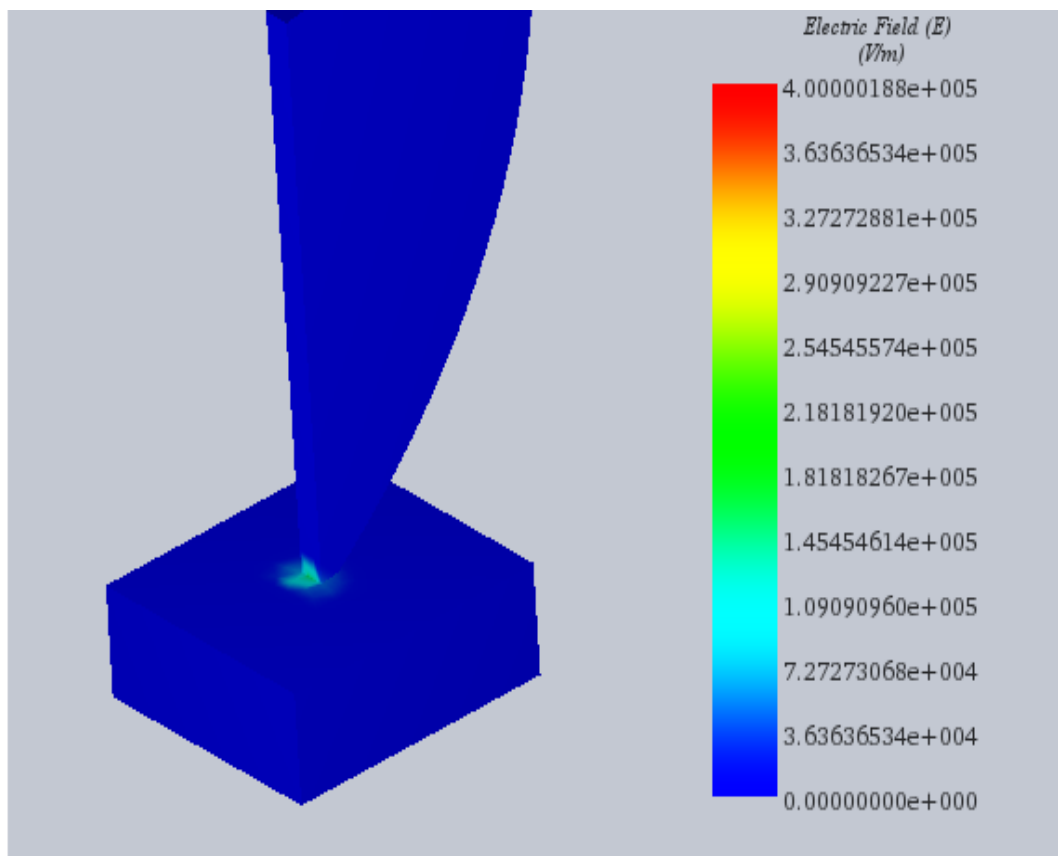


Рисунок 3.9 – Градієнт електричного поля

Для того, щоб подивися результат у розрізі, обрано функцію 3DFringePlot – SectionClipping (рисунок 3.10).

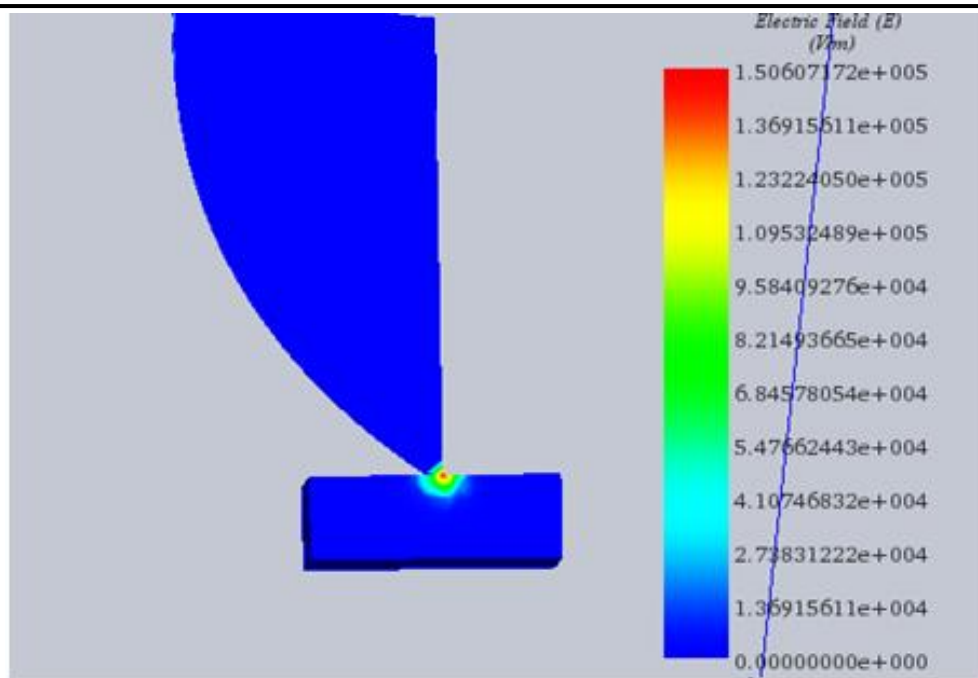


Рисунок 3.10 – Градієнт електричного поля у розрізі

Далі представлено результат Current Density – це щільність струму (рисунок 3.11).

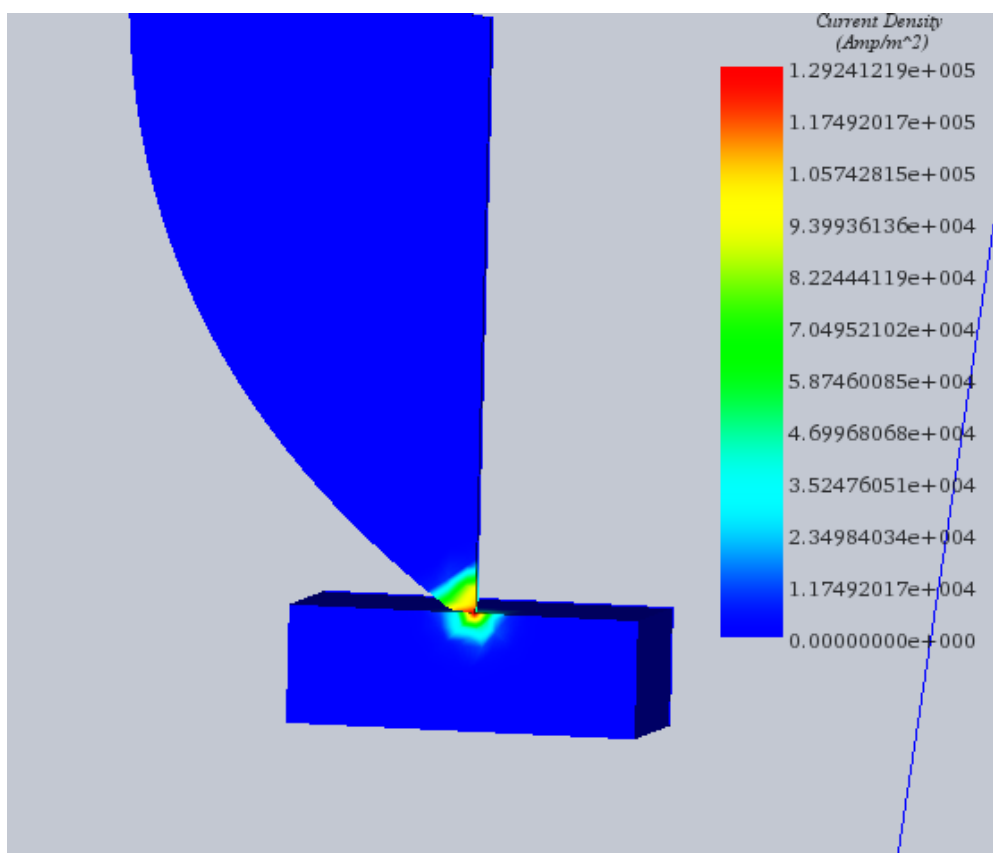


Рисунок 3.11 – Щільність струму



Щільність струму характеризує силу струму, що проходить через одиницю площі поперечного перерізу провідника, перпендикулярного напрямленню струму [25]. Одиницею вимірювання щільності струму є  $A/m^2$ .

Далі представлено результати теплових досліджень, а саме – температура. Вимірюється в К, а в  $^{\circ}C$  на 273 менше.

На рисунку 3.12 представлено результати через 0,1 секунди після початку дослідження.

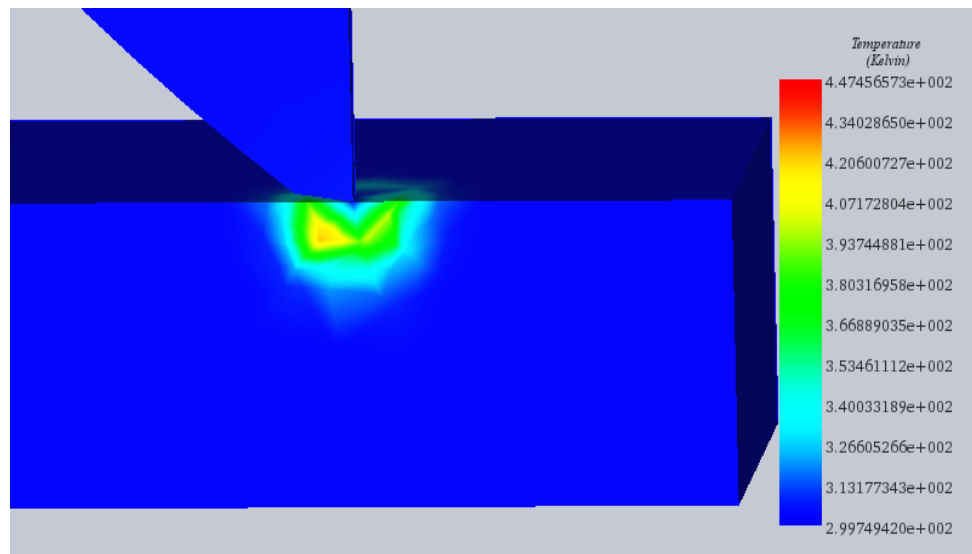


Рисунок 3.12 – Температура через 0,1 секунди

На рисунку 3.13 представлено результати через 0,2 секунди після початку дослідження.

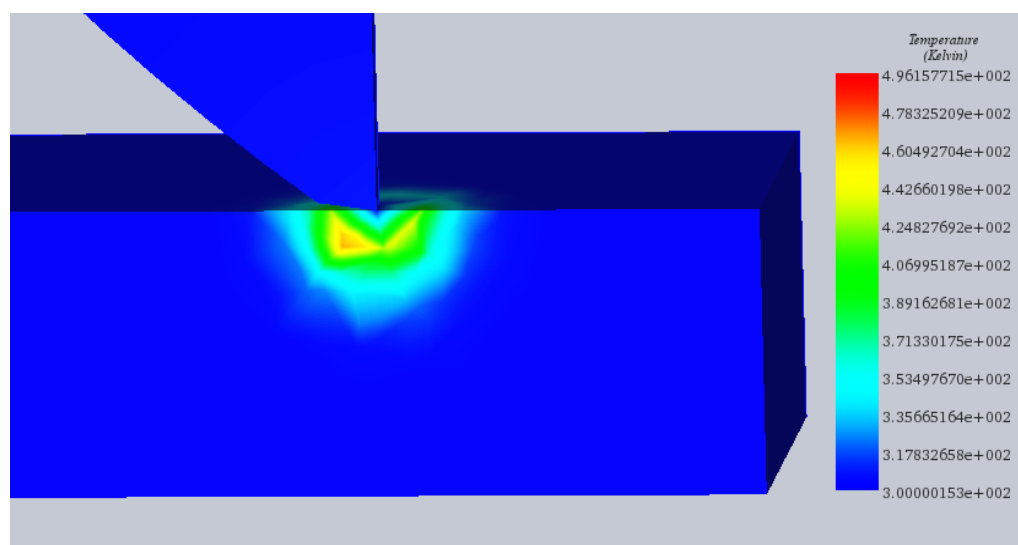


Рисунок 3.13 – Температура через 0,2 секунди



На рисунку 3.14 представлено результати через 0,3 секунди після початку дослідження.

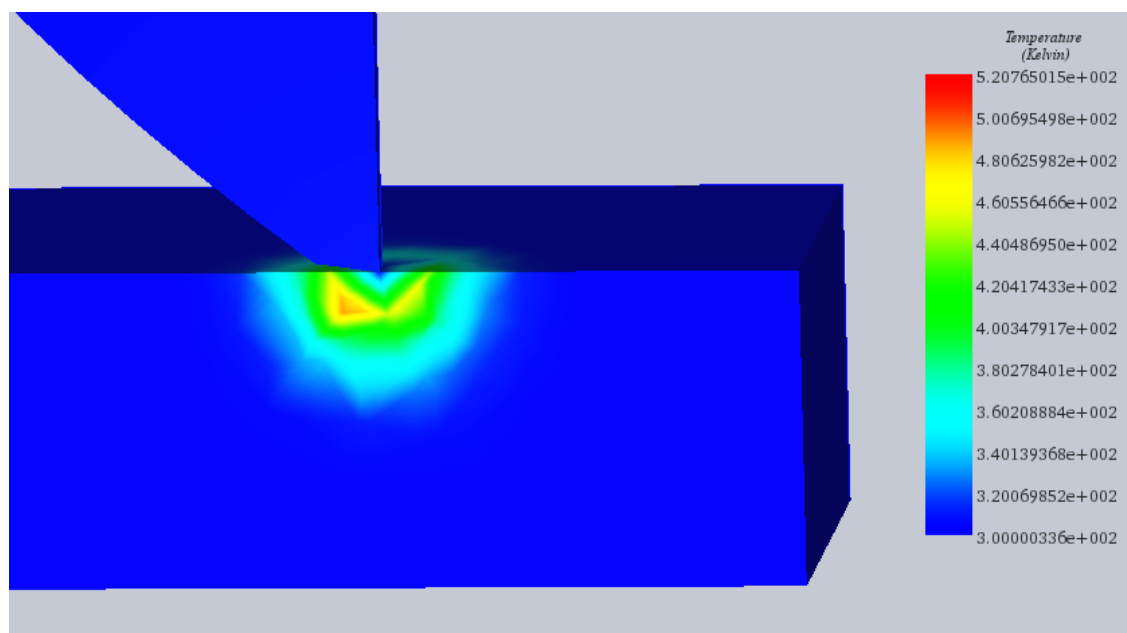


Рисунок 3.14 – Температура через 0,3 секунди

На рисунку 3.15 представлено результати через 0,5 секунди після початку дослідження.

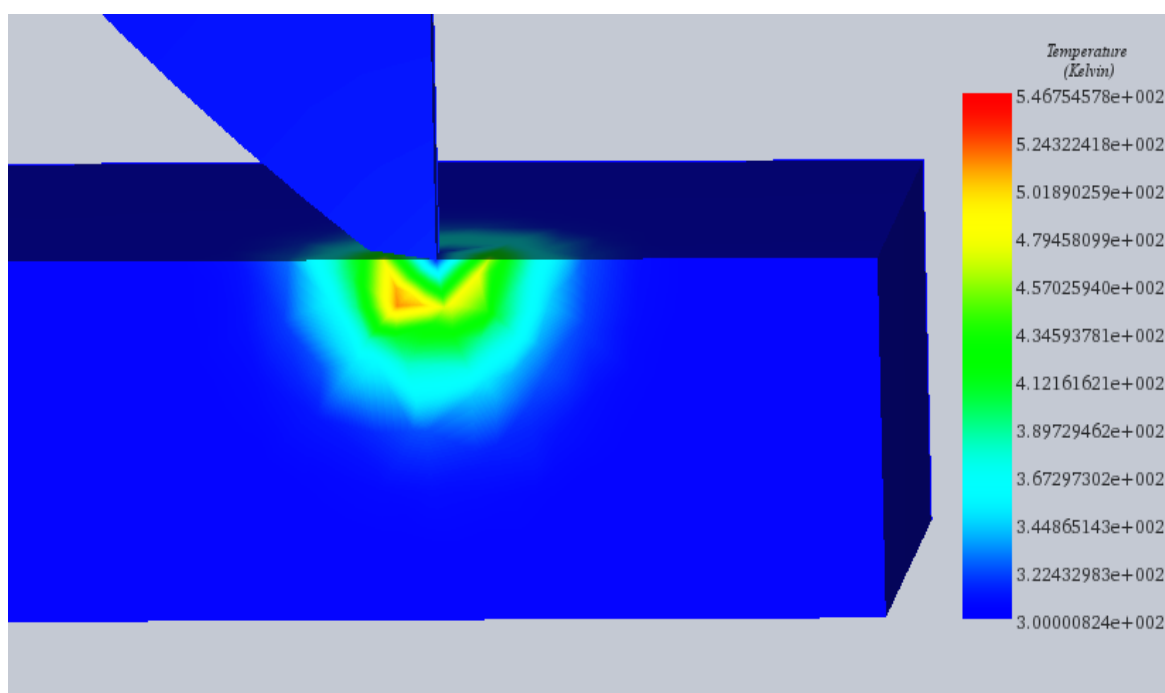


Рисунок 3.15 – Температура через 0,5 секунди

З рисунків 3.12 – 3.15 видно що через 0,1 – 0,5 с після початку дослідження температура під електродом становить приблизно 200°C, що і забезпечує різання біологічної тканини.

На рисунку 3.16 представлено результати через 1 секунду після початку дослідження.

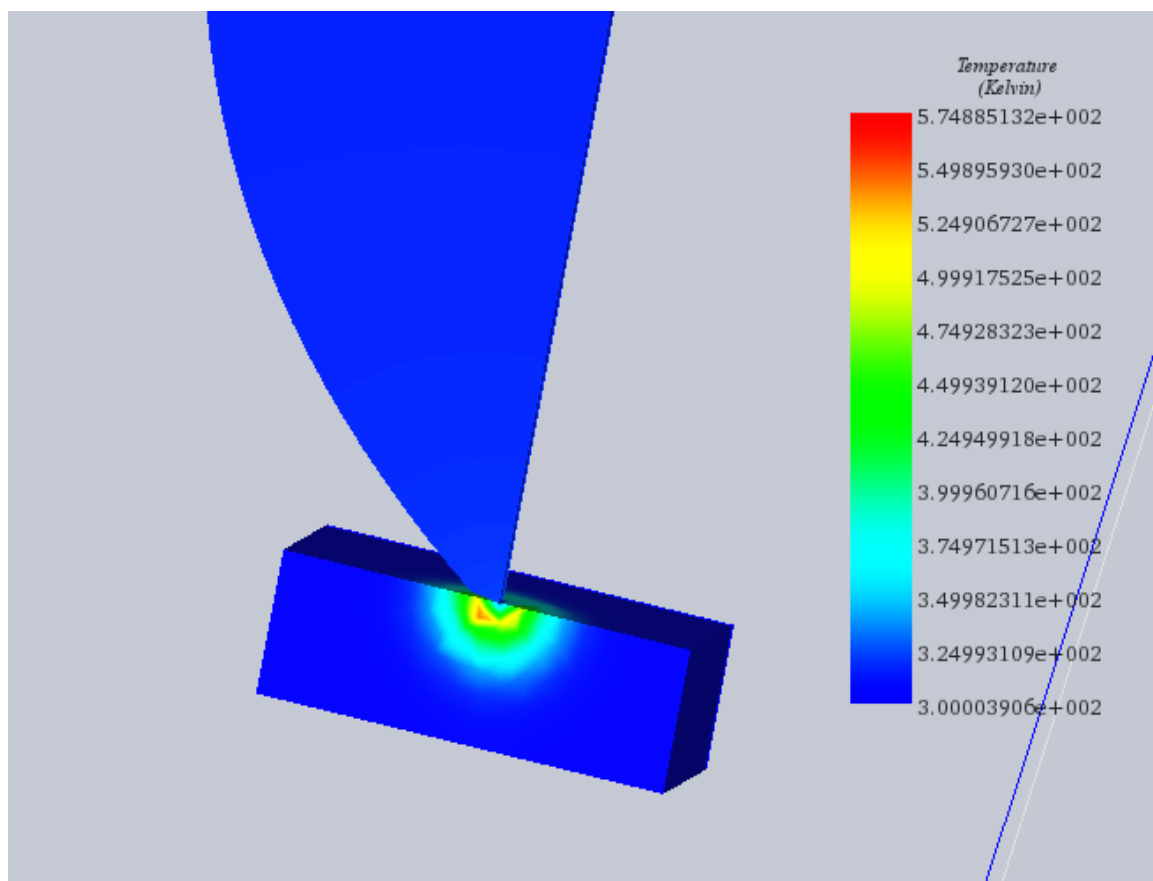


Рисунок 3.16 – Температура через 1 секунду

З рисунку 3.16 видно, що найбільша температура близько 300°C у місці дотику електродів з тканиною і на віддаленні від електродів на 0,15 мм. Реально, температура не досягне такої величини, тому що тканина зруйнується раніше.

Далі на рисунках 3.17 і 3.18 представлено результати температури через 2 і 3 секунди відповідно.

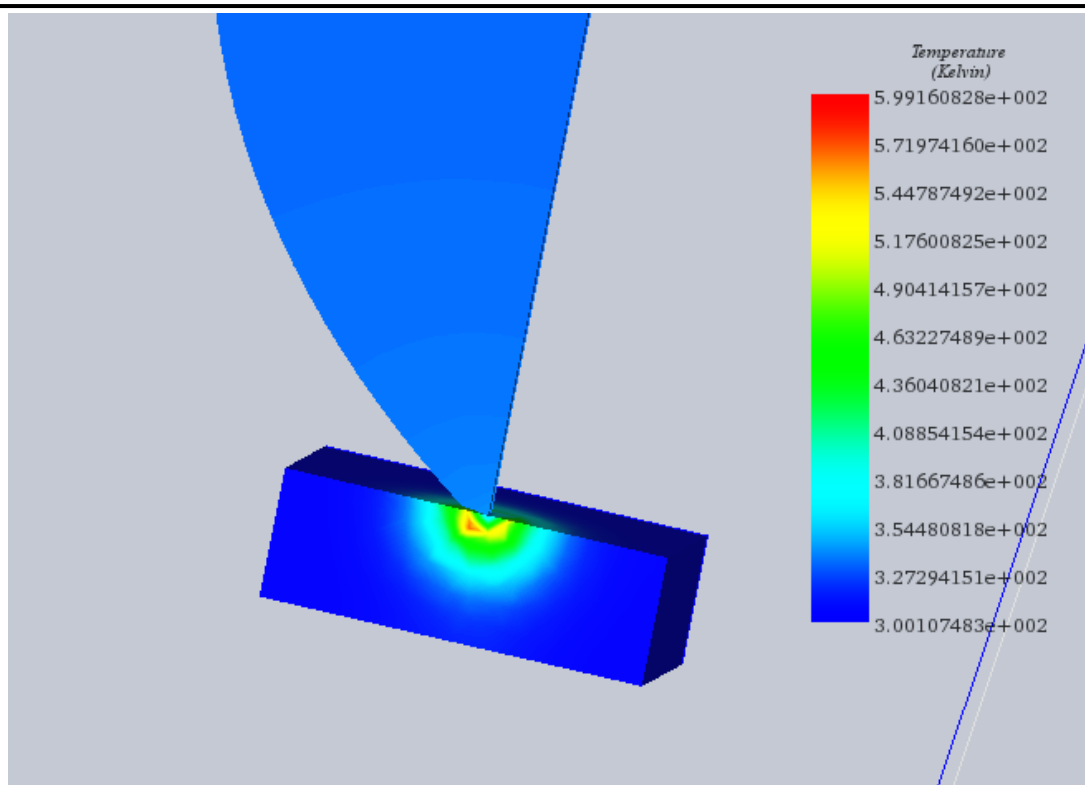


Рисунок 3.17 – Температура через 2 секунди

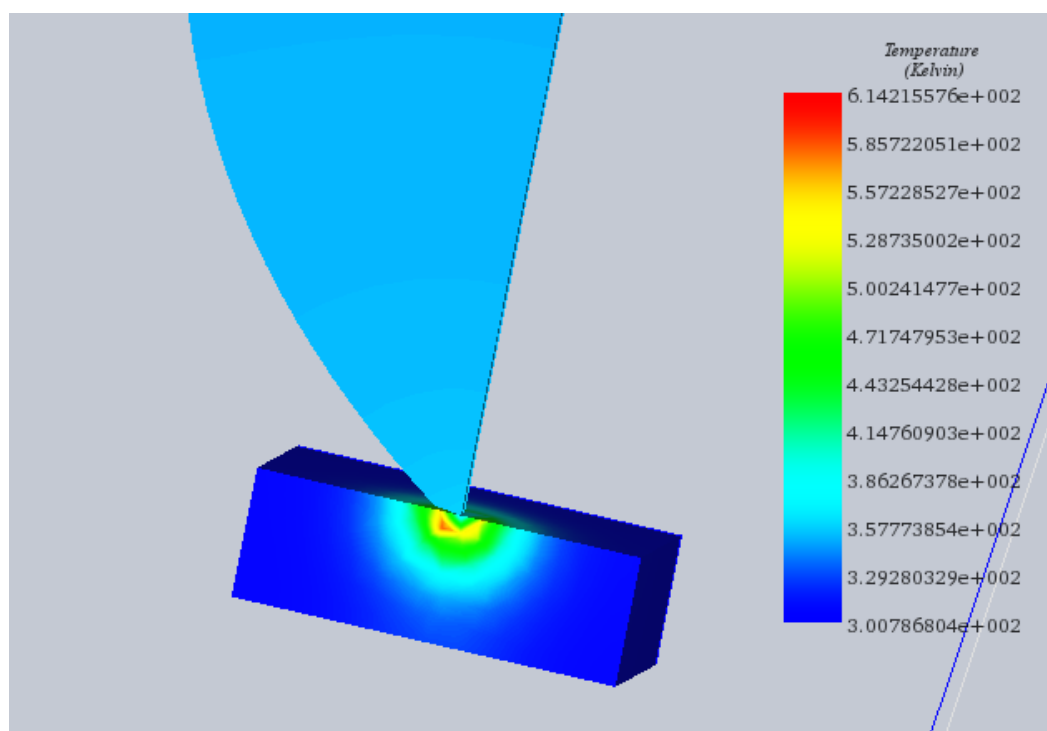


Рисунок 3.18 – Температура через 3 секунди

Для даного аналізу вводиться поняття температурного фронту, яке описується двома факторами. Перший фактор описує зміну градієнта

температури, а другий – проєкцію першого в напрямку градієнта температури [32].

На рисунку 3.19 представлено градієнт температури через 3 секунди після початку дослідження.

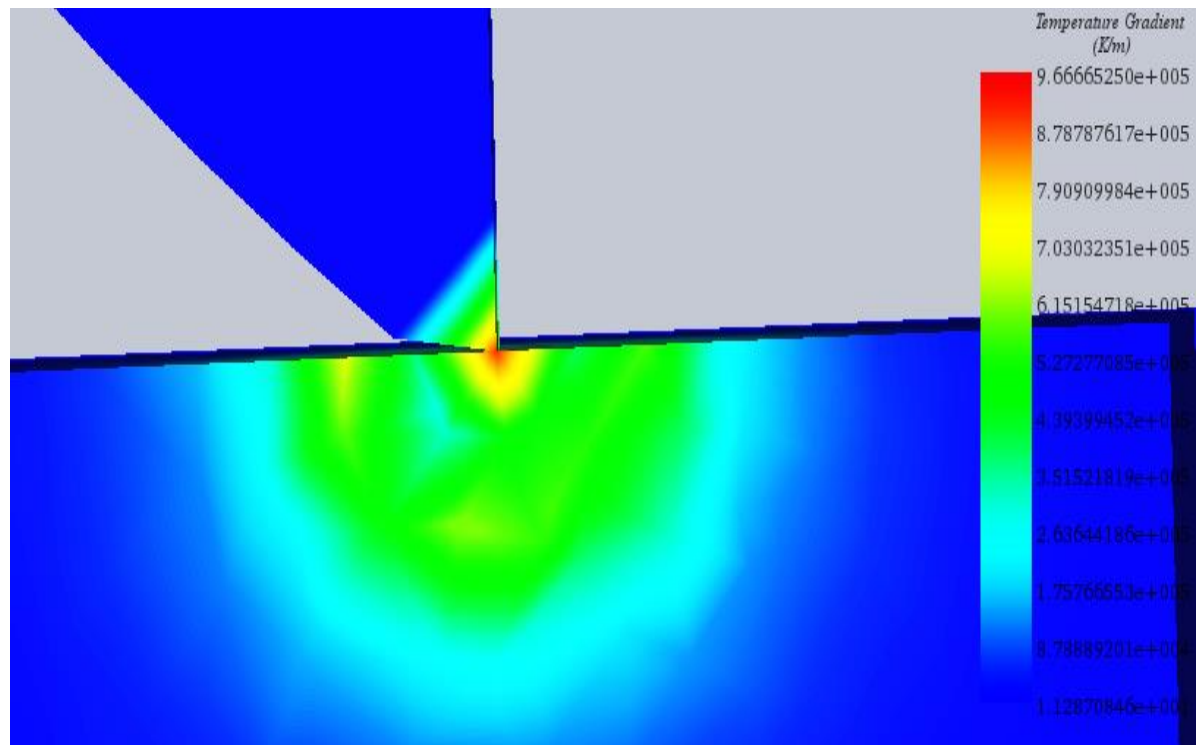


Рисунок 3.19 – Градієнт температури через 3 секунди

З рисунку 3.19 видно, що за рахунок швидкого нагрівання та високої температури, фронт температури знаходиться попереду електродів, що сприяє легкому різанню біологічної тканини.

Існує взаємозв'язок між параметром фронтального аналізу і базовим визначенням фронту, яке фіксує холодний фронт, де температура починає падати, і теплий фронт, де зупиняється ріст температури [32]. Зміна температури може впливати на значні зміни форми, деформації та навантаження [29].

У результаті виконання перехідного теплового аналізу протягом 3 секунд з початковою температурою 300 K, маємо поступове збільшення температури на кінчику леза у місці дотику з біологічною тканиною.

Температурний фронт знаходиться попереду електрода, що сприяє легшому та безкровному різанню тканини.

За рахунок маленької відстані між електродами відбувається досить швидке збільшення температури між ними – за 3 секунди виросла удвічі. Але температура локалізується в одній точці, що видно з результатів.

### 3.4 Узагальнення отриманих результатів

За допомогою програмного середовища SolidWorks та додаткового до нього модуля Electromagnetic Simulation було сконструйовано моделі електроножа та біологічної тканини. Проведено механічне та електромагнітне дослідження. Для механічного експерименту на хрящову тканину було подано додаткове навантаження у 1 Н і отримано результати на напруження, переміщення та деформацію. Знайдено оптимальне навантаження 0,1 Н. Для електромагнітного – подано напругу на два електроди і мали 40 В змінного струму з частотою 440 кГц, а також досліджено перехідний процес протягом 3 секунд з початковою температурою 300 К, це оптимальне навантаження.

По проведеним механічному та електромагнітному дослідженню отримано наступні результати:

- показано можливість моделювання різання електроножем в програмному середовищі SolidWorks;
- визначені механічні напруження, переміщення і деформації, а також значення оптимального навантаження – 0,1 Н;
- визначені градієнт електричного поля, щільність струму; температура і градієнт температури;

– показано, що при напрузі 40 В температура тканини досягає під електродами 160°C за 0,1 – 0,2 с, що створює умови для теплового руйнування біологічної тканини та її різання.

Узагальнюючи отримані результати, можна сказати, що для роботи з електроскальпелем хірургу не потрібно подавати додаткової сили для проведення розрізу хрящової тканини. Адже додаткова сила може призвести до пошкодження носової перегородки, і результатом стане проведена неуспішна операція.

За результатами електромагнітного дослідження видно, що за рахунок маленької відстані між електродами відбувається їх швидке нагрівання. Але видно, що при маніпуляцій з лезом електроножа температура локалізується на поверхні біологічної тканини в одній точці. Це допомагає піддавати термічному впливу тільки потрібну ділянку. Під впливом високої температури в клітинах закипає рідина, що призводить до їх руйнування і відбувається розтин. Також, за рахунок високої температури, відбувається зварювання прилеглих тканин, що сприяє безкровному різанню при хірургічних втручаннях з використанням даного електроножа.

### Висновки до розділу 3

У даному розділі було описано результати проведених механічного та електромагнітного досліджень. При проведенні механічного дослідження подано на біологічну тканину додаткове навантаження у 1 Н.

Дане дослідження включало в себе перевірку на напруження, переміщення та деформацію. У результатах було отримано деформацію хрящової тканини та її руйнування, що викликано поданим на неї додатковим навантаження. Тому було проведено додаткове дослідження в визначено оптимальне значення навантаження – 0.1 Н.

Проведене електромагнітне дослідження дозволило дослідити перехідний процес протягом 3 секунд з поданою початковою температурою та частотою змінного струму. У результатах відображено як змінюється температура леза електроножа та ділянки тканини, яка дотикається до інструменту.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Темою дипломної роботи є «Електроніж для отоларингології», а саме розробка моделі приладу, тому в розділі «Охорона праці» було обрано план №1. Метою даного розділу є виявлення та оцінка потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що створюються елементами проєктованого приладу, та розробка заходів щодо їх усунення.

#### 4.1 Характеристики об'єкту

##### 4.1.1 Технічні характеристики приладу

У дипломній роботі розробляється електронна модель електроножа. Дані для моделювання було взято з патенту на корисну модель електроскальпелю Семенова В. Р. «МЕТОСТ». Даний електроніж використовується для різання та коагуляції м'яких тканин та судин струмом високої частоти. Основні технічні характеристики приладу наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики електроножа

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Електроніж	Потужність – 300 Вт; основна частота ВЧ сигналу – 440 кГц; живлення - 220±22 В; допустимий час безперервної роботи – 8 год.	1	-
2.	Рукоятка	Матеріал корпусу – пластик; Температурний режим -20...+120°C	1	1
3.	Лезо електроножа	У вигляді трьох пластин, дві з яких – електроди, а між ними – ізоляція (пластмас)	1	2



### Продовження таблиці 4.1

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
4.	Штекерне рознімання	Матеріал – луджена мідь.	1	5
5.	Контактні штирі	Зі струмопровідного металу – латунь, закріплені в ізоляції – пластмас.	1	6
6.	Електроди	Матеріал – мідь; Напруга – 2,8 В.	7	4

#### 4.1.2 Складові частини приладу

Основні складові частини приладу представлені на рисунку 4.1.

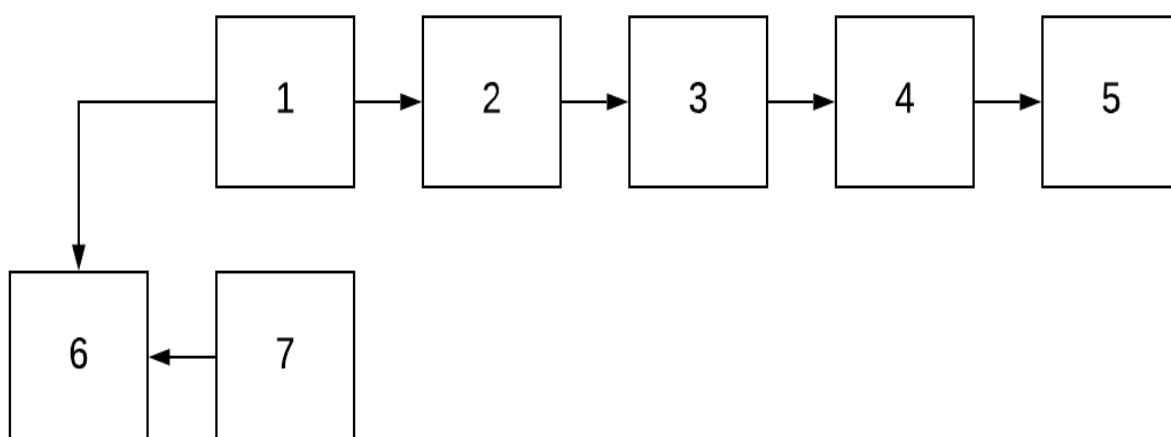


Рисунок 4.1 – Структурна схема приладу

Хірург тримає електроніж за рукоятку (1) і починає маніпулювати лезом (2). Протікання струму забезпечується завдяки підключенню ручки електроножа до апарату для електрозварювання через штекерне рознімання (5) та контактні штирі (6). Далі ВЧ-напруга (3) подається на активний і пасивний (монополярні) електроди (4) та підводиться до тканин оперованого пацієнта(5).

#### 4.1.3 Характер взаємодії приладу в системі «людина – об'єкт»

Засоби отримання інформації про роботу приладу представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія приладу в системі «людина – об'єкт»

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	Кількість
1.	Електронний блок	Кнопки керування, що забезпечують вмикання/вимикання режимів роботи, збільшення та зменшення потужності	1

Електроніж підключений до апарату для електрозварювання, який має електронний блок, що дає змогу керувати основними параметрами згідно з інструкцією та забезпеченням безпеки пацієнта. Це дає можливість правильно налаштувати параметри роботи пристрою, враховуючи особливості кожного пацієнта та характер хірургічного втручання.

4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються конструкцією приладу, та заходи їх усунення

##### 4.2.1 Небезпеки фізичного характеру

Основною небезпекою фізичного характеру при роботі з електроножем є його лезо, так як можливе отримання травм користувача. Небезпеки фізичного характеру, їх наслідки та способи усунення наведено в таблицях 4.3-4.5.

Таблиця 4.3 – Небезпеки фізичного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Лезо електроножа	Лезо	Механічні порізи	Травми користувача

Таблиця 4.4 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактори небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Механічні пошкодження шкіри	Наявні	Відсутні

Нормативно-допустимі значення були приведені згідно ГОСТ 30393-95 «Інструменти хірургічні».

Таблиця 4.5 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Захисна кришка для леза	Обмеження доступу до леза електроножа
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань щодо експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Регулярне проведення перевірки	Перевірка леза електроножа на наявність пошкоджень
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

#### 4.2.2 Біологічні джерела небезпечних та шкідливих факторів впливу

Причини, наслідки та способи усунення біологічних небезпек наведено в таблицях 4.6 – 4.8.

Таблиця 4.6 – Основні джерела біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Лезо електроножа	Мікроорганізми, віруси	Відсутність дезінфекції	Місцеві алергічні реакції, можливість потрапляння бактерій через рани в організм

Таблиця 4.7 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Мікроорганізми, віруси	Наявні	Відсутні

Нормативно-допустимі значення були приведені згідно ДСТУ 7748:2015 «Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги».

Таблиця 4.8 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Виготовлення леза електроножа з безалергенного матеріалу	Усунення ризику виникнення алергії
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань щодо експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Дезінфекція леза перед використанням	Виключення можливості використання брудного леза електроножа
5.	ЗІЗ	Дотримання правил власної гігієни	Індивідуальний захист

#### 4.2.3 Небезпеки теплового характеру

Небезпекою теплового характеру при роботі з електроножем є отримання опіків тканини оперованого пацієнта. Небезпеки теплового характеру, їх наслідки та способи усунення наведено в таблицях 4.9-4.11.

Таблиця 4.9 – Небезпеки теплового характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Електроди	Температура опіку	Робоча температура	Опіки пацієнта

Таблиця 4.10 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактори небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Робоча температура	60-70°C	20-80°C

Таблиця 4.11 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Регулювання температури	Використання величини робочої температури згідно нормативних документів
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань щодо експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Регулярне проведення перевірки	Перевірка роботи електродів
5.	ЗІЗ	Згідно з посадою користувача	Індивідуальний захист

#### 4.2.4 Небезпека ураження електричним струмом

Основною небезпекою використання електроножа є ураження електричним струмом, так як присутнім є безпосередній контакт електродів із поверхнею шкіри людини. Причини, наслідки та способи усунення електричних небезпек наведено у таблицях 4.12 – 4.14.

Таблиця 4.12 – Основні небезпеки ураження електричним струмом

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Елементи живлення	Електричний струм	Напруга, що створюється різницею потенціалів блоку	Пошкодження обладнання, травми персоналу
2.	Електроди	Матеріал електродів	Напруга	Травми пацієнта

Таблиця 4.13 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактори небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1.	Напруга	2,8 В	3 В
2.	Сила струму	13 мкА	2 мА

Нормативно-допустимі значення були приведені згідно ДСТУ 12.1.038:2008 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів».

Таблиця 4.14 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Запобіжник перепаду напруги та регулятор струму	Використання величини напруги дотику та обмеження струму, що передбачено нормативними документами
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань щодо експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Перевірка несправностей у відключеному режимі	Уникнення контакту з елементами під напругою
4.	Експлуатаційні заходи	Регулярне проведення перевірки на цілісність електродів	Забезпечення безпечної роботи
5.	ЗІЗ	Згідно з посадою користувача	Індивідуальний захист

#### 4.2.5 Небезпеки пожежного характеру

Небезпеки пожежного характеру, їх наслідки та способи усунення наведено в таблицях 4.15 – 4.17. Так як пожежа в електричній схемі може виникнути тільки через нагрівання, то функціональним блоком, який може стати причиною такої небезпеки, є лезо електроножа.

Таблиця 4.15 – Небезпеки пожежного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Лезо електроножа	Напруга на електродах	Коротке замикання	Пошкодження частин пристрою

Таблиця 4.16 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактори небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Напруга на електродах	2,8 В	3 В

Нормативно-допустимі значення були приведені згідно ДСТУ 12.1.038:2008 «Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів».

Таблиця 4.17 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Регулювання напруги	Використання величини напруги дотику, що передбачено нормативними документами
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації приладу	Навчання з питань щодо експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні заходи	Регулярне проведення перевірки	Перевірка надійності та цілісності електродів
5.	ЗІЗ	Згідно з посадою користувача	Індивідуальний захист

### 4.3 Інструкція з техніки безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту

Експлуатація електроножа без ознайомлення з цією інструкцією заборонена.

- Не встановлювати та не використовувати електроніж в місцях, де він може бути підданий впливу води, вологи, високої температури тощо.
- Не встановлювати та не використовувати електроніж в місцях присутності вогнебезпечних або вибухових газів та хімічних речовин.
- Підключення електроножа до електричної мережі повинно здійснюватися через захист від коротких замикань.
- Уникати пошкодження леза електроножа.
- Переконалися, що на усіх з'єднаннях відсутня волога.
- Заборонено проводити перевірочні та ремонтні роботи з електроножем, якщо він підключений до пацієнта.
- Технічне обслуговування та ремонт необхідно проводити тільки після відключення приладу від мережі живлення.
- Під час роботи необхідно зняти з пацієнта будь-які металеві предмети чи прикраси, оскільки вони можуть викликати опік шкіри.

#### Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто та оцінено небезпеки біологічного, пожежного, теплового, фізичного та електричного характеру, розроблено та описано заходи їх усунення. Характеристики даного електроножа відповідають нормативним значенням. Також було розроблено інструкцію з техніки безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту.

					БМ62.14.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56



## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було проаналізовано науково-технічну літературу з даної теми. А саме було вивчено будову носа та носової перегородки, розглянуто метод електрохірургії і його види та використання електроножа.

Під час виконання практичної частини було виконано розгляд сучасних програмних комплексів для проведення та аналізу майбутніх досліджень. У результаті аналізу поставлених задач, для подальшої роботи обрано програмне середовище SolidWorks та встановлено до нього додатковий модуль Electromagnetic Simulation.

Перед створення моделі електроножа було проведено аналіз існуючих інструментів та обрано прототип для моделювання. Також необхідно було сконструювати біологічну тканину для проведення віртуальних досліджень.

В ході виконання дипломної роботи було створено модель досліджуваного електроножа з біологічною тканиною. Їх створення було результатом роботи в обраному програмному середовищі з використання різноманітних інструментів для моделювання. Також було проведено механічне та електромагнітне дослідження роботи сконструйованої моделі електроножа.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пшениснoв К. П., Гагaрин В. В. Хирургическая анатомия носа и анализ пропорций лица // Избранные вопросы пластической хирургии. — 2000. — Т. 1, № 4.
2. Анатомія зовнішнього носа [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://msvitu.com/archive/2011/march/article-1.php>.
3. Все о выпрямлении носовой перегородки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://videoplastica.ru/plastika/ispravlenie-nosovoj-peregorodki.html>.
4. Вирівнювання носової перетинки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdcmydoctor.com.ua/vyryvnyuvannya-nosovoyi-peregorodky/>.
5. Виды электрохирургии [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://studopedia.ru/3\\_51728\\_I-vidi-elektrohirurgii.html](https://studopedia.ru/3_51728_I-vidi-elektrohirurgii.html).
6. Электронож или скальпель. Чему отдать предпочтение в хирургии? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.umj.com.ua/article/112126/elektronozh-ili-skalpel-chemu-otdat-predpochtenie-v-hirurgii>.
7. Федоров И. В., Никитин А. П. Клиническая электрохирургия. М.: Медицина, 1997. – 89.
8. Pollock S. V. Electrosurgery of the skin. New York, 2001. – 225.
9. Ross R., Odland G. Human wound repair. Inflammatory cells, epithelial-mesenchymal interrelations, and fibrinogenesis. J. Cell Biol., 1998. – 39: 152-68.
10. ЭЛЕКТРОНОЖ В ХИРУРГИИ – ПЛЮСЫ И МИНУСЫ, ВИДЫ ЭЛЕКТРОСКАЛЬПЕЛЯ-КОАГУЛЯТОРА В МЕДИЦИНЕ [Електронний ресурс]

ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.operabelno.ru/elektronozh-v-xirurgii-plyusy-i-minusy-vidy-elektroskalpelya-koagulyatora-v-medicine/>.

11. Пат. 100798 Україна, МПК A61B 17/32. Електроскальпель Семенова «МЕТОСТ» / П.Ф. Музиченко, Р.Г. Семенов, В.Р. Семенов - №201501685; Заявл. 26.02.2015, Опубл. 10.08.2015, Бюл. №15-5 с.

12. Пат. 50044А Україна, МПК 7 A61B 17/24. Спосіб лікування викривлення перегородки носа / І.А. Косаківська, А.Л. Косаковський. - №2001031725; Заявл. 14.03.2001; Опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.-2 с.

13. Пат. 74881 Україна, МПК 6 A61B 18/12. Інструмент для з'єднання м'яких біологічних тканин / Б.Є.Патон, В.К.Лебедев, О.В.Лебедев та ін. №2003109500; Заявл. 22.10.2003; Опубл. 15.02.2006, Бюл. №2.-3 с.

14. Пат. 94807 Україна, МПК A61B 17/24. Електроінструмент для біполярного височастотного зварювання біологічних тканин / А.Л. Косаковський, І.А. Косаківська та ін. № 200911226; Заявл. 05.11.2009; Опубл. 10.06.2011, Бюл. №11.-4с.

15. Пат. 45187А Україна, МПК A61B 17/24. Спосіб лікування викривлення перегородки носа / І.А. Косаківська ; Заявл. 13.06.2001; Опубл. 15.03.2002, Бюл. №3-3с.

16. Charoenkwan K., Chotirosniramit N., Rerkasem K. (2012) Scalpel versus electrosurgery for abdominal incisions. Cochrane Database Syst. Rev., Jun. 13, 6.

17. Электронож или скальпель. Чему отдать предпочтение в хирургии? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.umj.com.ua/article/112126/elektronozh-ili-skalpel-chemu-otdat-predpochtenie-v-hirurgii>.

18. Общество с ограниченной ответственностью "Хирургические инновационные технологии" (ООО "Хирургические инновационные технологии"). Сменная насадка на электрод-нож электрокоагулятора для рассечения рубцовых тканей вокруг внесосудистого фрагмента электрода

электрокардиостимулятора (варианты) / Общество с ограниченной ответственностью "Хирургические инновационные технологии" (ООО "Хирургические инновационные технологии")., 2017. – 20 с.

19. Аведьян А. SolidWorks — стандарт трехмерного проектирования [Электронный ресурс] / Артем Аведьян – Режим доступа до ресурсу: <https://sapr.ru/article/6733>.

20. Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / под ред. Б.Е. Патона и О.Н. Ивановой. – Киев: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2009. – 200 с

21. Лебедев А, Хойдра К. Порівняння існуючих методів роз'єднання біологічних тканин. Біомедицинская инженерия и электроника. 2016;1(12):9.

22. Лебедев А. В., Креницкий К. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СВАРКИ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ / А. В. Лебедев, К. С. Креницкий. //БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ЭЛЕКТРОНИКА. – 2018.

23. SOLIDWORKS Simulation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://intersed.kiev.ua/simulation\\_packages](https://intersed.kiev.ua/simulation_packages).

24. Очень большие плотности тока [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.chem21.info/info/1599576/>

25. Нормальная плотность тока [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://chem21.info/info/593710/>.

26. Критерий: максимальное напряжение по Мизесу [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/r\\_Maximum\\_von\\_Mises\\_Stress\\_Criterion.htm](http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm)

27. Эпюра перемещения PropertyManager [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://help.solidworks.com/2013/RUSSIAN/SolidWorks/cworks/HIDD\\_HELP\\_DISPLOTTYPE.htm](http://help.solidworks.com/2013/RUSSIAN/SolidWorks/cworks/HIDD_HELP_DISPLOTTYPE.htm).

28. Эпюра деформации [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

[http://help.solidworks.com/2012/Russian/SolidWorks/cworks/IDC\\_HELP\\_STRAINPLOTTYPE.htm?id=718d6a5ec9ea46a2a9411d74f61fceb](http://help.solidworks.com/2012/Russian/SolidWorks/cworks/IDC_HELP_STRAINPLOTTYPE.htm?id=718d6a5ec9ea46a2a9411d74f61fceb).

29. Анализ термических напряжений [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

[http://help.solidworks.com/2017/Russian/SolidWorks/cworks/c\\_Thermal\\_Stress\\_Analysis.htm](http://help.solidworks.com/2017/Russian/SolidWorks/cworks/c_Thermal_Stress_Analysis.htm).

30. Градиент потенциала электрического [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://chem21.info/info/1016223/>.

31. Electromagnetic Simulation Software [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.esi-group.com/ru/programmnye-resheniya/virtualnaya-sreda/elektromagnetizm/electromagnetic-simulation-software>.

32. Thermal front [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://rammb.cira.colostate.edu/wmovl/vrl/tutorials/satmanueumetsat/SatManu/Basic/Parameters/TFP.htm>.

33. ИСКРИВЛЕНИЕ НОСОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ: ПОЧЕМУ ВОЗНИКАЕТ И КАК УСТРАНИТЬ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://anacosmo.ua/blog/iskrivlenie-nosovoj-peregorodki-pochemu-voznikaet-i-kak/>.

34. История электрохирургии и создания ЭХВЧ аппаратов [Электронный ресурс] / Copyright ООО «Эфа» 2004-2018 – Режим доступа до ресурсу: <http://electrosurg.ru/history.html>.

35. Сучасні хірургічні інструменти для високих технологій. Ультразвукові, плазмові СВЧ – інструменти, що зшивають апарати, лазери в хірургії [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: [http://om.net.ua/4/4\\_14/4\\_146931\\_sovremennye-hirurgicheskie-instrumenti-dlya-](http://om.net.ua/4/4_14/4_146931_sovremennye-hirurgicheskie-instrumenti-dlya-)

visokih-tehnologiy-ultrazvukovie-plazmennie-svch--instrumenti-sshivayushchie-apparati-lazeri-v-hirurgii.html.

36. Теплова дія струму [Електронний ресурс].–2015.– Режим доступу до ресурсу: <http://moyaosvita.com.ua/fizuka/teplova-diya-strumu/>.

37. Теплова дія струму: закон Джоуля-Ленца [Електронний ресурс].– 2016.– Режим доступу до ресурсу: <http://poradu.pp.ua/nauka/46284-teplova-dya-strumu-zakon-dzhoulya-lenca-prikladi.html>.

38. Fundamentalsof Electrosurgery Part I: Principles of Radiofrequency Energy for Surgery[Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу:<https://pdfs.semanticscholar.org/f4f1/c21c9b16b981e0a0f21f146e191214afa488.pdf>

39. Вплив електричного струму на організм людини [Електронний ресурс].–2015.– Режим доступу до ресурсу: <http://osvita.ua/vnz/reports/bjd/22819/>.